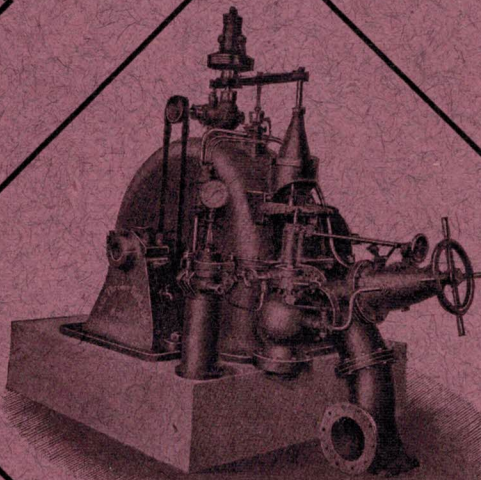


DIE
WASSERKRAFT-ANLAGEN
IN OBWALDEN

VON
P. BEDA ANDERHALDEN, O. S. B.
DR. PHIL. NAT.

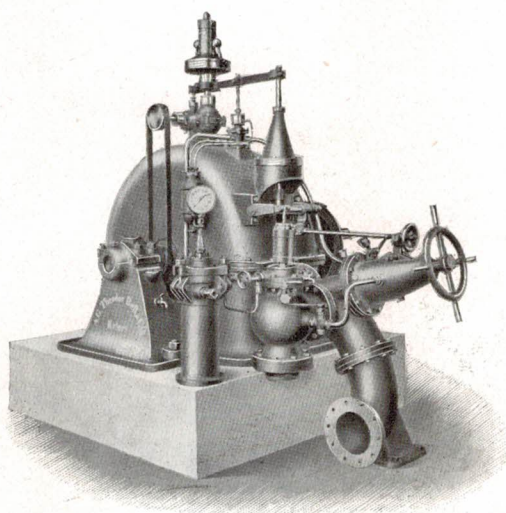


BEILAGE ZUM JAHRESBERICHT DER
KANTONALEN LEHRANSTALT SARNEN

□□□□□□□□ 1912/13 □□□□□□□□

DIE
WASSERKRAFT-ANLAGEN
IN OBWALDEN

VON
P. BEDA ANDERHALDEN, O. S. B.
DR. PHIL. NAT.



BEILAGE ZUM JAHRESBERICHT DER
KANTONALEN LEHRANSTALT SARNEN
1912/13



Der grossartige Aufschwung, den die Ausnützung der natürlichen Wasserkräfte in den letzten Jahren auch in der Schweiz genommen hat, ist zunächst zurückzuführen auf den Fortschritt und die Ausdehnung von Industrie und Technik, und auf die Vermehrung der Arbeitsmaschinen, die zwar den Arbeiter immer mehr verdrängen, aber zu ihrem Antrieb bedeutende Kraft beanspruchen. Dazu kommt der Umstand, dass die Schweiz selbst keine Kohlen hat, sondern Kohle, Benzin und Rohöl im Werte von jährlich über 60 Millionen Franken aus dem Ausland beziehen muss. In diesem Punkt ist die Schweiz auch in Friedenszeiten vom guten Willen des Auslandes abhängig. Im Kriegsfall würde die Einfuhr aufhören, die vorhandenen Kohlenvorräte wären in wenigen Wochen erschöpft und es müssten die verhängnisvollsten Verkehrsstörungen eintreten. Deshalb ist für die Schweiz eine weitgehende Ausnützung der Wasserkräfte und die Elektrifizierung der Bahnen eine Lebensfrage.

Zwar standen dieselben Wasserkräfte von jeher zur Verfügung, aber sie sind zumeist so abgelegen von allen Verkehrsmöglichkeiten, dass es undenkbar war, an diesen Orten industrielle Anlagen zu errichten. Erst durch die elektrische Kraftübertragung ist es möglich geworden, die Energiequellen wirtschaftlich günstig auszunützen, die Arbeit des Wassers an Ort und Stelle durch Turbinen und Dynamomaschinen in elektrische Energie umzuwandeln, diese mit verhältnismässig geringen Kosten und fast ohne Verluste auf beliebige Entfernungen zu übertragen und den einzelnen Konsumenten an der Arbeitsmaschine zur Verfügung zu stellen.

So lange im Kanton Obwalden keine elektrische Kraft zur Verfügung stand, war man fast ausschliesslich auf die Kraft des Wassers angewiesen, und diese wurde in der Regel an Ort und Stelle ausgenützt. Anlagen mit elektrischer Kraftübertragung, die selbstverständlich neuern Datums sind, giebt es im Kanton nur vier, nämlich die beiden Anlagen in Obermatt, das Gemeinde-Elektrizitätswerk Kerns und die Anlage in Unteraa.

Dem Streben nach einer möglichst grosszügigen Ausnützung der Wasserkräfte entspringen die projektierten Wasserwerke des Kantons, wofür bis jetzt vier Konzessionsgesuche bei der h. Regierung eingereicht wurden, die am Schluss dieser Arbeit kurz beschrieben sind.

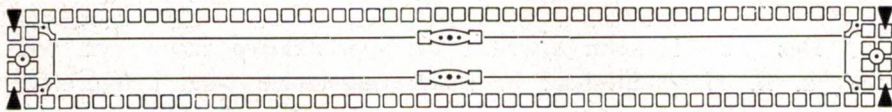
Um möglichste Zuverlässigkeit zu erreichen, hat der Verfasser fast alle Kraftanlagen des Kantons persönlich in Augenschein genommen und mit den Besitzern die notwendigen Erhebungen besprochen. In den wenigen andern Fällen hat er von zuverlässiger Seite die gewünschten Daten erhalten. Für das allseitig freundliche Entgegenkommen soll an dieser Stelle der gebührende Dank ausgesprochen werden.

Betreffs der Zahlenangaben sei Folgendes bemerkt: Für die Leistungen der Wassermotoren wurde allgemein der grösste Wert angenommen; die Wassermenge entspricht dann auch dieser Leistung. Da aber die Wasserläufe meistens Gebirgsbäche mit sehr veränderlicher Wassermenge sind, so werden im Winter und in trockenen Sommern die Leistungen bedeutend hinter den angegebenen zurückbleiben. Von eigentlichen Wassermessungen und Leistungsbestimmungen durch Abbremsen wurde abgesehen, deshalb sind diese Angaben nach bestem Wissen der Besitzer gemacht und hier wiedergegeben worden. Die Tourenzahlen sind bei den Wasserrädern nicht vermerkt worden, da diese Art Wassermotoren bei richtiger Konstruktion und zweckmässigem Betrieb eine nur in engen Grenzen schwankende Umlaufgeschwindigkeit haben. Die Tourenzahl der Turbinen musste vielfach experimentell bestimmt oder aus der Radgrösse und dem Gefäll berechnet werden. Die Angaben über Leistung, Gefäll und Wassermenge wurden unter Voraussetzung eines Nutzeffektes von 75 % auf ihr Zusammenstimmen durchgerechnet. *)

Die ganze Arbeit, deren Schwerpunkt in der tabellarischen Zusammenstellung der Wasserkraftanlagen zu suchen ist, ging aus dem Bestreben hervor, ein Weiteres zur Kenntnis des Heimatlandes beizutragen. Die Ausführungen über Wasserkraftanlagen, Wasserräder und Turbinen sollen den vielen Besitzern dienlich sein, ihre eigenen Anlagen, die Wasserkraftmaschinen und die Wirkungsweise des Wassers in denselben besser kennen zu lernen. Dabei haben wir versucht, durch eine passende Auswahl von Abbildungen und durch steten Hinweis auf vorliegende Verhältnisse, das Verständnis zu erleichtern und auch für einen weitem Leserkreis Interesse zu erwecken.

Allen, die dem Verfasser bei der Arbeit behilflich waren, besonders auch den Erbauern der Turbinen, sei für ihr freundliches Entgegenkommen an dieser Stelle ebenfalls bestens gedankt.

*) Mehrere Angaben über Leistung von Turbinen wurden durch Mitteilungen der Erbauer modifiziert. Man täuscht sich leicht über die erforderliche Betriebskraft, wenn viele Arbeitsmaschinen an derselben Transmission laufen. Die Maschinen werden sehr verschieden beansprucht und dadurch findet ein kraftersparender Ausgleich statt. Für alle von Stockmann, Sarnen, installierten Turbinen standen uns über Leistung etc. seine Angaben zur Verfügung.



Ueber das Arbeitsvermögen des Wassers.

Wird ein Körper von P Kg um H Meter gehoben, so muss dabei entgegen der Schwerkraft eine Arbeitsleistung von PH Meterkilogramm (mkg) aufgewendet werden. Dadurch ist der Körper in einen neuen physikalischen Zustand versetzt worden, er besitzt ein erhöhtes Arbeitsvermögen zufolge grösserer Entfernung vom Erdmittelpunkt, **Entfernungsenergie**. Solange der Körper in seiner neuen Stellung verharret, leistet er natürlich keine Arbeit. Wird aber das Hindernis entfernt, so fällt der Körper um die Höhe H zurück und erlangt am Ende seines Falles eine Geschwindigkeit

$$v = \sqrt{2gH} \text{ Meter. } (g = 9,81 \text{ m}) \quad (1)$$

Die beim Aufschlagen geleistete Arbeit ist $\frac{1}{2} M v^2$ Meterkilogramm. Nun ist $M = P/g$; folglich ist die geleistete Arbeit auch $= \frac{1}{2} \cdot P/g \cdot 2gH = PH$ mkg. Daraus folgt, dass die zum Heben aufgewendete Arbeit beim Aufschlagen des Körpers wieder frei wird.

Wenden wir dieses Resultat auf unsern Gegenstand an. 1 Liter Wasser wiegt 1 Kg, folglich kommt jedem Liter Wasser, der in einem Reservoir H Meter über dem Unterwasserspiegel einer gedachten Kraftanlage sich befindet, ein Arbeitsvermögen von H mkg zu. Stehen sekundlich Q m³ Wasser zur Verfügung, so ist die Arbeitsleistung (L) des Wassers

$L = 1000 Q \cdot H$ mkg oder, da 75 mkg per Sek. einer Pferdekraft (PS) entsprechen,

$$L_r = \frac{1000 Q \cdot H}{75} \text{ P S} \quad (2)$$

Ist z. B. $H = 510$ m, $Q = 0,025$ m³, so ist die rohe Arbeitskraft dieses Wassers $1000 \cdot 0,025 \cdot 510 : 75 = 170$ PS.

Zur Schätzung des Arbeitsvermögens einer Wasserkraft müssen demnach die 2 Grössen Q und H bestimmt werden; Q ist die Wassermenge in m³ per Sekunde, wofür man bei kleinern Wasserläufen die Literzahl per Sekunde (Sekundenliter) anzugeben pflegt, H ist die Gefällshöhe in Metern.

Das Gefäll kann zuweilen aus Spezialkarten entnommen werden; z. B. Höhendifferenz Melchsee-Lungerersee oder Lungerersee-Sarnersee. Bei Hochdruckanlagen dürfte eine barometrische Höhenmessung genügen. Sind b_0 und b die möglichst gleichzeitig gemessenen Barometerstände am untern und obern Endpunkt der Gefällsstrecke, so ist die Höhendifferenz

$$H = 18400 (\log b_0 - \log b) \text{ Meter} \quad (3)$$

Diese Methode ist sehr kurz, sie nimmt kaum mehr Zeit in Anspruch, als zum Aufsuchen der Endpunkte notwendig ist und der Fehler kann durch Korrekturen kleiner als 1 m gemacht werden. Bei Niederdruckanlagen mit kleinem Gefäll kommt es auf die grösste Genauigkeit an. Hier muss das Gefäll durch Nivellieren festgesetzt werden. Durch ein Präzisionsnivellement kann der Fehler beliebig klein gemacht werden.

Die Gefällshöhe wird bei Wasserkraftanlagen entweder in Metern oder in Atmosphären angegeben. Eine normale Atmosphäre entspricht einer Wassersäule von 10,33 m. In der Praxis rechnet man auf eine Atmosphäre genau 10 m Wasserhöhe.

In Fig. 3 nennt man die Höhendifferenz der Punkte A und B das rohe Gefäll. Das Bruttogefäll ist die Höhendifferenz zwischen dem Oberwasser- und Unterwasserspiegel unmittelbar vor und nach dem Wassermotor gemessen; bei Hochdruckanlagen die Höhendifferenz zwischen Wasserschlossspiegel und Unterwasser. Das Nettogefäll ist das Bruttogefäll, vermindert um die Druckverluste, die das Wasser auf seinem Weg vom Oberwasserkanal zum Unterwasserkanal oder durch die Rohrleitung erleidet. Für die Kraftausnützung kommt selbstverständlich nur das Nettogefäll in Betracht.

Die Bestimmung der Wassermenge gestaltet sich schwieriger als die Ermittlung des Gefälls. Bei kleinen Mengen kann das Wasser in einem Gefäss aufgefangen und mit Berücksichtigung der Zeit die Literzahl per Sekunde festgestellt werden. Die Messung grösserer Wassermengen geschieht durch Spannschütze oder Ueberlauf. Bei Kanälen und Flüssen wird die Wassergeschwindigkeit mit dem Schwimmer, den hydrometrischen Röhren von Pitot, Darcy und Frank, oder mit dem hydrometrischen Flügel von Woltmann bestimmt. Die Wassermenge wird dann aus dem Querschnitt und der Wassergeschwindigkeit berechnet. Diese Methoden erfordern Uebung und Sachkenntnis und es sei an dieser Stelle auf Spezialwerke verwiesen, wo sich auch die notwendigen Formeln und Tabellen finden.

Während seiner Umfragen bei den verschiedenen Wasserkraftanlagen hat der Verfasser mehrmals erfahren, dass man für Wasser-

messungen die Geschwindigkeit eines auf der Oberfläche schwimmenden Körpers in die Rechnung einführte. Man erhält auf diese Weise eine zu grosse Wassermenge, da die Geschwindigkeit des Wassers sowohl in einer Röhre als in einem offenen Kanal nicht in allen Punkten eines Querschnittes dieselbe ist. Figur 1 stellt die Wassergeschwindigkeitsverhältnisse in einem Kanal von trapezförmigem Querschnitt dar. Die eingezeichneten Kurven sind Linien gleicher Strömungsgeschwindigkeit, sogen. Isotachen. Die geschlossene Kurve in der Mitte gibt die Punkte grösster Geschwindigkeit. Je weiter sich die Linien davon entfernen, desto kleiner ist in den Punkten derselben die Geschwindigkeit, am kleinsten natürlich am Boden und an den Wänden, weil da nicht nur Wasser gegen Wasser sich reibt, sondern Wasser gegen den festen Bekleidungskörper des Kanals. Da Kanäle und Rohrleitungen schiefe Ebenen darstellen, sollte die Bewegung an sich eine gleichförmig beschleunigte sein. Die genannten Reibungswiderstände bewirken aber eine gleichförmige (mittlere) Wassergeschwindigkeit.

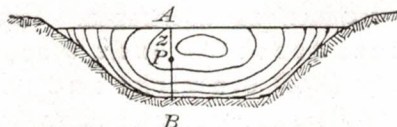


Fig. 1. Strömungsgeschwindigkeit in einem Kanalquerschnitt.

Wenn in der angedeuteten Weise das Gefäll und die Wassermenge ermittelt sind, erhält man eine Vorstellung von der zu erwartenden Leistung einer Wasserkraftanlage. Zwei Anlagen haben dieselbe Leistung, wenn die Anwendung der Formel (2) dieselbe Zahl ergibt. Dennoch können die beiden Anlagen baulich sehr verschieden ausfallen. Herrscht die Wassermenge gegenüber dem Gefäll vor, so spricht man von einer Niederdruckanlage, wenn aber das Gefäll vorherrscht, von einer Hochdruckanlage. Uebrigens teilt man die Anlagen auch ohne Rücksicht auf die Wassermenge ein in Niederdruckanlagen bis 10 m und in Hochdruckanlagen von 10 bis 100 m Gefäll und darüber. Die äussersten Gefällswerte, die in Obwalden vorkommen, sind 0,5 m (Nr. 3) und 500 m (Nr. 57). Die Wassermengen liegen zwischen 0,6 (Nr. 47) und 3000 Sekundenliter (Nr. 31).

Je höher das Gefäll ist, desto mehr macht sich eine Aenderung der Wassermenge geltend. Beim E. W. Kerns ändert die Turbine mit jedem Sekundenliter ihre Leistung um 5 P.S. Bei Wassermotoren mit ganz geringem Gefäll muss hingegen für die Erhaltung des Gefälls gesorgt werden; dies geschieht durch Regulierung der Leitrad-schaukeln. Bei der Turbine Nr. 30 entspricht bei 2200 Liter einer Gefällsänderung von 48 mm eine P.S. Durch diese zwei Beispiele findet die früher aufgestellte Behauptung, dass bei Hochdruckanlagen

die Wassermenge eher genauer als das Gefäll, bei Niederdruckanlagen das Gefäll genauer als die Wassermenge bestimmt werden muss, eine deutliche Bestätigung.

Die verschiedensten Wassermotoren, die im Laufe der Zeit gebaut worden sind, haben den Zweck, das dem bewegten Wasser innewohnende Arbeitsvermögen in sich aufzunehmen und an die Arbeitsmaschinen zu übertragen. Das geschieht im wesentlichen dadurch, dass das strömende Wasser auf einen beweglichen Körper (Rad) einwirkt und ihm den eigenen Bewegungszustand aufzwingt. Je vollkommener die Uebertragung der Energie vom Wasser auf den beweglichen Körper ist, desto besser ist der Motor, desto grösser sein Wirkungsgrad. Eine verlustlose Ausnützung der Energie des Wassers ist mit keinem Wassermotor möglich. Man rechnet durchschnittlich mit einem Nutzeffekt von 75 % und versteht darunter das Verhältnis aus der durch Abbremsen ermittelten Leistung des Motors zu der nach Formel (2) aus der sekundlichen Wassermenge und dem Nettogefäll berechneten. Unter Zugrundelegung dieses Nutzeffektes von 75 % geschieht die Ermittlung der Nutzleistung (L_n) einer Wasserkraft nach der Formel

$$L_n = \frac{1000 Q \cdot H}{75} \cdot 0,75 = 10 Q H \text{ PS} \quad (4)$$

Es dürfte von Interesse sein, hier in Kürze anzugeben, wie das Abbremsen einer Kraftmaschine vorzunehmen ist. Man benützt dazu den Bremszaum von Prony 1821. Er beruht auf dem Gedanken, die von einem Motor auf eine Welle übertragene mechanische Arbeit

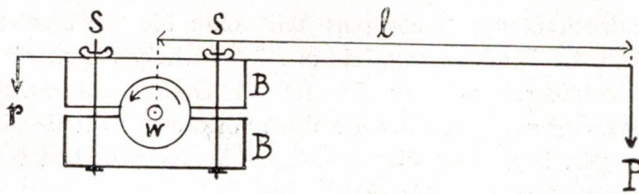


Fig 2. Bremszaum, schematisch.

durch Reibung zu vernichten und diese Reibung zu messen. Der Zaum besteht nach Fig. 2 aus 2 Hartholzbacken B B, die nach dem Umfang der Welle oder der Riemenscheibe ausgedreht sind und durch Schrauben S S zusammengepresst werden können. Die obere Backe hat ein Loch und im Innern einen Kanal zur Aufnahme des während des Versuches beständig anzuwendenden Kühlwassers. Auf der oberen Backe ist ein Hebel befestigt, der durch ein Gegengewicht p horizontal gehalten

wird, wenn die Schrauben nicht angezogen sind. Zur Ausführung einer Bremsung ist die Mithilfe von drei Personen notwendig. Es können zwei verschiedene Verfahren eingeschlagen werden.

1. Verfahren. Die Tourenzahl des Motors wird bei maximaler Belastung bestimmt, sie sei n . Nun werden die Transmissionen abgehängt. Der Motor würde jetzt viel zu schnell laufen, man zieht aber die Schrauben an den Bremsbacken an, beschwert den Hebel von der Länge l so lange, bis die Tourenzahl wiederum n ist und der Hebel horizontal steht. Die Leistung ist jetzt gleich der Reibungsarbeit und diese wäre genau dieselbe, wenn die Welle still stehen würde und eine Kraft P den Zaum mit der Tourenzahl n um die Welle bewegen würde. Die Reibungsarbeit ist gleich Kraft \times Weg $= P \cdot 2 \pi l \cdot n$ und die sekundliche Arbeit in Pferdestärken ist $\frac{P \cdot 2 \pi l \cdot n}{75 \cdot 60}$.

Berechnet man die immer wiederkehrende Grösse $\frac{2 \pi}{75 \cdot 60}$ für sich, so hat man kürzer

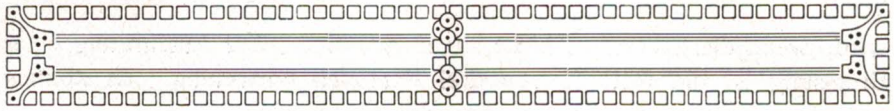
$$L_n = \frac{P \cdot l \cdot n}{716} \text{ PS} \quad (5)$$

Für das beschriebene Verfahren bietet die Verwendung eines Tachometers grossen Vorteil, weil am Zifferblatt die augenblickliche Tourenzahl ablesbar ist und durch Regulierung der Schrauben die gewünschte Tourenzahl n rasch eingestellt werden kann.

2. Verfahren. Man hängt, bei unbelastetem Motor, ein Gewicht P , in der Entfernung l an den Hebel und presst die Backen zusammen, bis der Hebel horizontal steht; die Tourenzahl sei n_1 . Nun macht man das Gewicht bei gleicher Hebellänge grösser und kleiner und bestimmt jedesmal die zugehörige Tourenzahl; man erhält die Werte $P_2, n_2; P_3, n_3$ u. s. w. Nun wendet man auf jede Bremsung die Formel (5) an und findet für ein bestimmtes Gewicht und die entsprechende Tourenzahl einen grössten Wert; das ist die maximale Leistung des Motors.

Den Nutzeffekt eines Wassermotors erhält man als Verhältnis des besten Bremsungsergebnisses und der aus Formel (2) berechneten Leistung. Bei Hochdruckturbinen ist das Gefäll am Manometer bei laufender Turbine abzulesen.

Anmerkung. Sehr bequem ist folgende Methode: Man verfährt wie bei 2; presst die Backen so an, dass die Reibung etwas zu klein ist. Das Gewicht hängt an einer Schnur und nun dreht man den Hebel, bis er still steht. Auf einem Maßstab, dessen Nullpunkt unter der Wellenmitte ist, wird die wirksame Hebellänge von 0 bis zur Schnur abgelesen, wobei der Maßstab horizontal anzubringen ist.



Anordnung der Wasserkraftanlagen.

Jede Wasserkraftanlage umfasst zwei Teile; die maschinelle Anlage, welche den Wassermotor, die Regulierung und die Transmission umfasst, und die baulichen Veränderungen, die in oder am Wasserlauf vorgenommen werden müssen, um die Energie des Wassers in zweckmässiger Weise durch den Motor ausnützen zu können.

Die Niederdruckanlage.

Es handelt sich hier zumeist um Ausnützung eines wasserreichen Flusses. A und B (Fig. 3) seien die Punkte, zwischen denen das Gefäll ausgenützt werden soll. Bei A beginnt der Oberwasserkanal, auch Oberwassergraben genannt. Etwas flussabwärts bei W ist ein Wehr einzubauen, um das Wasser nach dem Seitenkanal zu drängen. Das Wehr (Fig. 4) ist entweder ein gerades (1) oder ein schiefes (2). Bei letzterem muss die Kanal-mündung bei K sein. Das krumme Wehr (3) und das gebrochene (4) kommen als die längern in Betracht. Je nach den Stau-Verhältnissen unterscheidet man das voll-

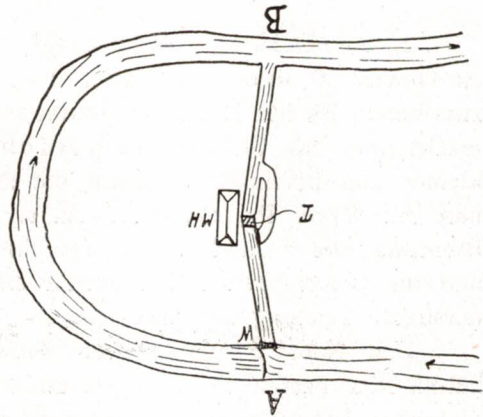


Fig. 3. Niederdruckanlage, schematisch.

kommene Wehr, bei welchem die Krone höher und das unvollkommene, bei welchem die Krone tiefer als der Unterwasserspiegel liegt. Ganz am Anfang des Oberwasserkanals ist eine Spannschütze von der Breite des Kanals eingebaut, um einerseits die Anlage vor Hochwasser zu schützen und anderseits den Kanal trocken

legen zu können. Ein Grobrechen vor der Spansschütze soll schwimmende Holzstücke, Eis und dergleichen zurückhalten. An einer passenden Stelle M ist der Wassermotor direkt in den Kanal eingebaut, die Welle geht ins Maschinenhaus MH. Vor dem Motor ist ein Feinrechen, der die kleinern Verunreinigungen des Wassers, Holzsplitter, Blätter, Obst und ähnliches zurückhalten soll. *) Vor dem Motor zweigt der Leerlaufkanal ab, der durch Schleuse schliessbar ist. Um die Anlage zum zweitenmal vor Ueberschwemmung zu schützen, oder um überhaupt überschüssiges Wasser abzuleiten, ist vor dem Feinrechen die eine Kanalmauer als sogenannter Streichüberlauf ausgebaut, über welchen das Wasser abfließt und durch den Leerlauf dem Unterwasserkanal zugeführt wird (Fig. 5, 6).

Von grosser Bedeutung für die Erhaltung des Kanals ist die Wassergeschwindigkeit, die so gewählt sein muss, dass sich einerseits kein Schlamm und Sand ansetzt, anderseits das Bett u. die Seitenwände nicht angegriffen werden. Es ergibt sich aus dieser Forderung eine nach der Bodenbeschaffenheit verschiedene Wasser-Geschwindigkeit.

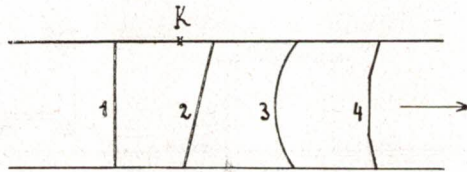


Fig. 4. Wehrformen.

Für den Oberwasserkanal wird die Geschwindigkeit etwa 0,6 m sein, was einem Gefäll von 0,4 — 0,5 ‰ entspricht. Der Unterwasserkanal erhält eine etwas grössere Geschwindigkeit, etwa 0,9 m bei einem Gefäll von 1 — 2 ‰. Da der Oberwasserkanal oftmals Erdaufschüttungen, der Unterwasserkanal Ausgrabungen verlangt, so wird man in der Regel einen Ober- und einen Unterwasserkanal anlegen, um das ausgehobene Material verwenden zu können. Die Längenverteilung beider Kanäle hängt von der günstigsten Lage des Maschinenhauses oder der Fabrikanlage ab.

Die Anlage der beiden Kanäle bedingt einen Gefällsverlust, da das Wasser weder von A nach dem Motor noch von da nach B horizontal fließen kann, sondern zur Ueberwindung der Reibungswiderstände eine gewisse Druckhöhe verbraucht. Der Verlust wird umso geringer sein, je besser die Kanalsole und die Wände geglättet sind und je günstiger der Wasserquerschnitt ist. Das Glätten der Wandungen verteuert aber die Erstellung und Unterhaltung der An-

*) Eine Riesenaufgabe haben die Feinrechen in jenen Kraftanlagen zu bewältigen, die in Engelberg am Dorfbach sind. Wir haben uns mit eigenen Augen davon überzeugt, daß ein zirka 2 m breiter Rechen in Zeit von einigen Stunden so mit Abfallstoffen bedeckt war, daß er kaum noch Wasser durchließ. Die Feder sträubt sich, die Gegenstände aufzuzählen, die trotz amtlichen Verbotes diesem Bache anvertraut werden.

lage. Eine rechnerische Untersuchung zeigt im gegebenen Fall, ob der Gewinn an Nutzgefäll die Kosten aufwiegt.

Liegen an einem Fluss mehrere Kraftanlagen in geringer Entfernung nacheinander, so kommt noch die durch das Wehr verursachte Rückstauung des Wassers in Betracht. Der Besitzer der obern Anlage darf durch die Stauung keinen Gefällsverlust erleiden. Auch da kann berechnet werden, wie weit die Rückstauung reicht, oder ob sie für eine gegebene Strecke einen merkbaren Wert annimmt. Wir erinnern uns dabei, dass Gefällsschwankungen von wenigen Zentimetern je nach der Wassermenge eine Aenderung der Leistung um eine PS bedingen.

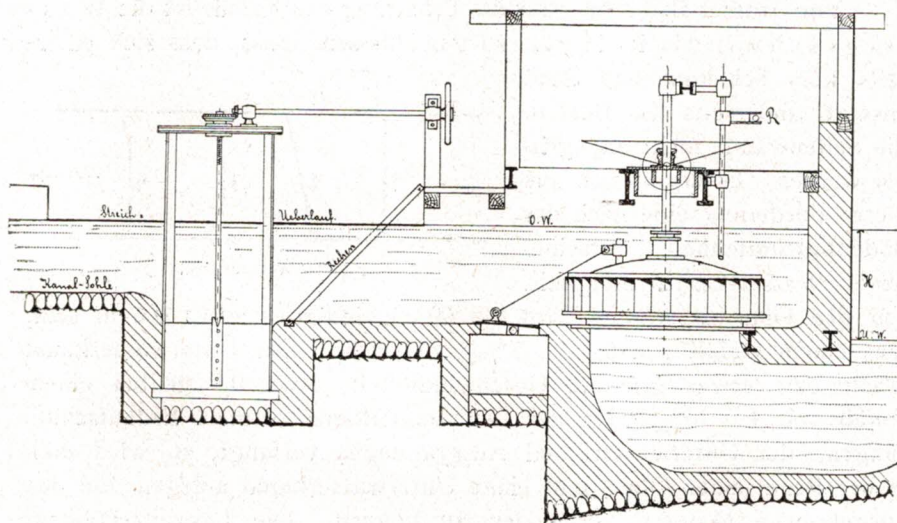


Fig. 5. Niederdruckanlage mit offener Francisturbine. Nr. 30.
Schnitt längs der Wasserrichtung.

Es finden sich in Obwalden nur wenige Anlagen von der beschriebenen Vollkommenheit (die Nummern 30, 31, 74, 75). Die Wehre sind bei den zwei ersten sehr einfach, eigentliche Bauwerke fehlen ganz. Nach Bedürfnis werden Bretter mit hinterlegten Steinen zur Stauung benützt und dann wieder entfernt. Bei Nr. 31 ist offenbar ein bedeutender Gefällsverlust vorhanden, da das Wasser der Aa mit reissender Geschwindigkeit durch die Spannschütze geht. Vielleicht war eine Höherlegung des Oberwasserkanals wegen der Strasse Kägiswil-Kerns nicht möglich. Bei Nr. 30 und 31 sind die Wasserräder durch Francis-Turbinen ersetzt worden. Nummer 30 zeigt besonders

deutlich, was durch eine moderne Turbinenanlage erreicht werden kann. Die jetzige Leistung beträgt 25 PS, während die frühere, mit einem unterschlächtigen Rad, nur 6 PS betrug, woran allerdings auch die veralteten Transmissionen beteiligt waren.

Wendet man den Begriff Niederdruckanlage auf Gefälle bis 10 m an, so gehören hieher alle Anlagen mit Wasserrädern, 2 Anlagen mit Tangentialrädern (16 u. 56), und von den Turbinenanlagen die Nummern 5, 27, 29, 30, 31, 35, 36, 60, 63, 64, 66, 71 und 75. Es sind also im genannten Sinn 32 Niederdruckanlagen.

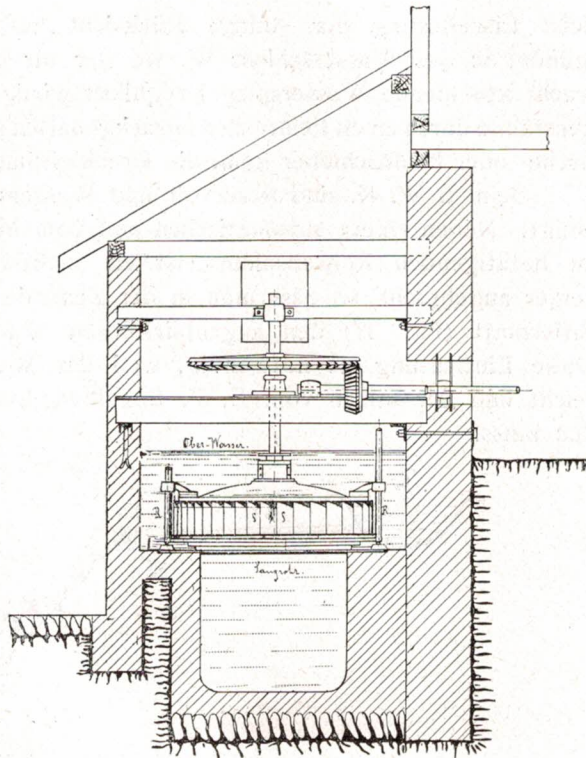


Fig. 6. Niederdruckanlage Nr. 30.
Schnitt senkrecht zur Wasserrichtung.

Die Hochdruckanlage.

Bei Hochdruckanlagen handelt es sich um Ausnützung einer hochgelegenen Quelle, eines Bergbaches, eines natürlichen oder künstlichen Sees. Eigentliche Hochdruckanlagen sind erst seit Erfindung der Turbinen entstanden. Eine vollkommene Anlage dieser Art besteht nach Fig. 7 aus folgenden Teilen: R stellt das Reservoir, den künstlichen oder natürlichen See dar. Es ist eine Klärrinne und ein Leerlauf vorzusehen. Unter dem Wasserspiegel beginnt mit geringem Gefälle ein Stollen, wenn möglich in harten Fels eingesprengt. Soll er als eigentlicher Druckstollen verwendet werden, so müssen die Sohle und die Wandungen besonders sorgfältig ausgemauert und zementiert sein. Der Querschnitt ist entsprechend der zu befördernden Wassermenge zu wählen und dabei auf eine mög-

liche Erweiterung der Anlage Rücksicht zu nehmen. Der Stollen mündet in das Wasserschloss W, wo der für das Bruttogefäll in Betracht kommende Wasserspiegel reguliert wird, und schwimmende Gegenstände durch einen Feinrechen zurückgehalten werden. Durch automatische- oder Handschieber kann die Druckleitung abgeschlossen werden.

Beim E. W. K. sind Reservoir und Wasserschloss miteinander vereinigt. Neben einem automatischen und vom Maschinenhaus elektrisch zu betätigenden Rohrabschluss ist ein elektrischer Wasserstandfernzeiger angebracht, so dass man in der Zentrale in Wisserlen an einem Zifferblatt (Fig. 37) den augenblicklichen Wasserstand ablesen kann. Diese Einrichtung ist notwendig, weil das Wasser nicht immer ausreicht und der Strom vom E. W. Engelberg-Luzern eingeschaltet werden muss.

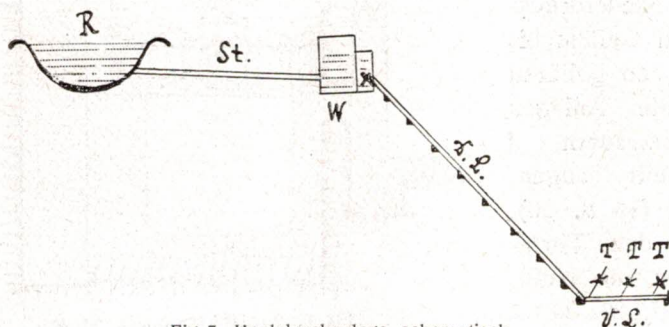


Fig. 7. Hochdruckanlage, schematisch.

Das Wasserschloss wird tunlichst an das Maschinenhaus herangerückt, damit die relative Länge der Druckleitung (Länge : Gefäll) möglichst klein ausfällt. Das Material der Rohrleitung ist Guss- oder Schmiedeeisen. Rohre von grossem Durchmesser werden aus Flusseisen oder Flußstahl zusammengenietet. Die Rohrverbindung geschieht durch Muffen mit eingestemmttem Blei, bei weiteren Rohren mittelst Flansch und Verschraubung. Der Durchmesser der Rohre richtet sich nach der Wassermenge mit Berücksichtigung des zu besprechenden Reibungsverlustes, die Wandstärke richtet sich nach dem Wasserdruck. Ist s die Wandstärke, H der hydrostatische Druck (bei abgestellter Turbine), D die lichte Rohrweite, so ist für Siemens-Martin Flusseisen

$$s = \frac{H \cdot D}{12 \div 13} + 1 \text{ mm}$$

für Stahlblech

$$s = \frac{H \cdot D}{15 \div 16} + 1 \text{ mm}$$

Da der Druck von oben nach unten zunimmt, kann die Wandstärke verschieden gewählt sein, um nicht unnötige Auslagen zu haben. Beim E. W. E.-L. waren Gründe vorhanden, die Wandstärke der untern Rohre nicht grösser zu wählen; dafür ist der Durchmesser nur 90 cm statt 100 cm. Da eine einigermaßen lange Rohrleitung, besonders wenn sie offen der Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist, durch die Wärme Längenveränderungen erfährt, so müssen sogenannte Expansionsmuffen angebracht werden. Die Rohrstösse werden auf Betonsockel gelegt und ausserdem die ganze Leitung auf einer entsprechenden Zahl von tieffundamentierten Fixpunkten verankert. Sind mehr Turbinen zu bedienen, als Rohrstränge vorhanden sind, so läuft eine Verteilungsleitung parallel einer Langseite des Maschinenhauses. Unmittelbar vor der Turbine ist ein Absperrschieber mit Gegendruckleitung, wenn Gefäll und Rohrweite bedeutend sind. Ohne Gegendruckleitung wäre der Schieber nur mit grossem Kraftaufwand zu bewegen, weil er bei einem Gefäll von H m unter einem einseitigen Druck von $H/10$ Kg per cm^2 steht. Beim E. W. K. ist $H = 527$ (hydrostatisch) und der Durchmesser des Schiebers 15 cm, also der einseitige Druck auf den Schieber 9312 Kg. Von der Turbine gelangt das verbrauchte Wasser in den Unterwasserkanal.

Die vollkommenste Hochdruckanlage ist das E. W. E.-L. Beim E. W. K. sind, wie schon bemerkt, Reservoir und Wasserschloss zusammengezogen. Bei den übrigen Hochdruckanlagen finden wir mehr oder weniger vereinfachte Verhältnisse. Das Wasser wird der Quelle oder dem Bach entnommen und kommt in ein Reservoir oder einen unterteilten Sandkasten. Da sollen die nicht schwimmenden Stoffe zurückbleiben. Vor einem Absperrschieber ist ein Feinrechen angebracht. Von da geht die Rohrleitung direkt nach der Turbine. Der Abschluss der Turbine erfolgt durch Schieber mit Handrad; Fig. 34 zeigt eine Drosselklappe und ihre Betätigung durch Schnecke und Zahnrad.

Von grosser Bedeutung für die Hochdruckanlage sind die Gefällsverluste, mit denen gerechnet werden muss. Der erste Verlust findet sich im Stollen; denn das Bruttogefäll hat seinen obern Punkt im Spiegel des Wasserschlosses. Wird der Stollen ganz mit Wasser gefüllt und als Druckstollen verwendet, so tritt der erwähnte Verlust nicht ein.

Von grösserem Einfluss auf die Gefällsverhältnisse ist die Druckleitung. Ist zwischen Wasserschloss (Reservoir) und Austrittöffnung des Wassers an der Turbine ein Bruttogefäll H ermittelt worden, so sollte nach Torricelli das Wasser mit der Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gH}$

ausfliessen. Die Formel gilt aber nur für reibungslosen Austritt; in Wirklichkeit ist die Geschwindigkeit kleiner. Für sehr gut abgerundete und polierte Ausflussöffnungen ist der sogenannte Geschwindigkeitskoeffizient $\alpha = 0,96$ zu setzen. Die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit ist dann

$$v_1 = 0,96 \sqrt{2gH} \quad (6)$$

Für grössern Druck nähert sich α immer mehr der Einheit, so dass die wirkliche Geschwindigkeit v_1 wenig von der theoretischen Geschwindigkeit v verschieden ist. Nach Weisbach ist schon für $H = 117$ m $\alpha = 0,988$. Aus Formel (6) ergibt sich die wichtige Folgerung, dass die Austrittgeschwindigkeit des Wassers und damit auch die gleich zu erwähnende Ausflussmenge nicht mit der Gefällshöhe H zunimmt, sondern wie die Quadratwurzel aus H , das will sagen, erst bei vierfachem Gefäll ist die Geschwindigkeit doppelt, bei neunfachem Gefäll dreimal so gross, als bei einem angenommenen Gefällswert H .

Die Wassermenge, welche auf die Turbine wirkt, ist ausser von der Geschwindigkeit v_1 noch abhängig vom Querschnitt der Oeffnung. Ist diese q dm², so wäre die theoretische Ausflussmenge $Q = q \sqrt{2gH}$, oder wegen der kleinern Geschwindigkeit $Q = \alpha q \sqrt{2gH}$. In Wirklichkeit ist die Ausflussmenge noch kleiner. Befindet sich nämlich in einer Gefässwand eine kreisförmige Oeffnung vom Halbmesser r , so zeigt eine genaue Beobachtung, dass der austretende Strahl nicht cylindrisch, sondern kegelförmig ist, und sein Querschnitt entspricht einem kleinern Kreis. Man nennt diese Erscheinung Zusammenziehung (Kontraktion) des Strahls. Die wirkliche Ausflussmenge ist nun so, als ob der grösste Querschnitt des Strahls ausserhalb der Oeffnung der eigentliche Querschnitt q wäre. Durch Ansatzröhren kann der austretende Strahl in verschiedener Weise beeinflusst werden, eine Tatsache, die für die endgiltige Gestaltung der Ausflussdüse bei der Peltonturbine mitbestimmend war. Mit Rücksicht auf den verkleinerten Querschnitt q ist die sekundliche Ausflussmenge

$$Q = \alpha \beta q \sqrt{2gH}.$$

Für $\alpha \beta$ kann man im Mittel 0,62 setzen, so dass man für die wirkliche Ausflussmenge hat

$$Q = 0,62 q \sqrt{2gH} \quad (7)$$

also 62 % der theoretischen. Man erhält die Ausflussmenge in Litern per Sekunde, wenn man den Querschnitt in dm² und die Gefällshöhe in dm ausdrückt.

Die in der Formel (7) auftretende Grösse H giebt Anlass zu weiteren Bemerkungen. Bei der Bewegung des Wassers in Rohrleitungen muss die Wassermenge längs der innern Rohrwand verschoben werden. Dies ist nicht möglich, ohne dass sowohl äussere Reibung zwischen der Wand und der angrenzenden Flüssigkeitsschicht, als auch innere Reibung zwischen den Flüssigkeitsteilchen stattfindet. Es liesse sich die Strömungsgeschwindigkeit in Röhren ähnlich wie in Fig. 1 darstellen, nur wären hier wegen der allseitigen Reibung alle Kurven geschlossen und die Linie grösster Geschwindigkeit in der Mitte des Rohrquerschnittes. Wollte man ein etwas übertriebenes Bild brauchen, so müsste man sich das Fliessen des Wassers in Röhren denken wie die Verschiebung der Auszüge eines Fernrohres. Die Grösse der äusseren Reibung hängt von der Beschaffenheit der Rohrwände ab. Da ausschliesslich guss- und schmiedeiserne Röhren in Betracht kommen, so sind ihre Reibungsverhältnisse gut bekannt.

Obwohl nach Coulomb bei der Bewegung fester Körper die Geschwindigkeit ohne Einfluss auf die Reibung ist, trifft das bei der Bewegung des Wassers in Röhren nicht zu. Zur Ueberwindung der Gesamtreibung ist eine konstante Kraft notwendig und dazu wird ein Teil der Druckhöhe H verbraucht. Man nennt dies den Druckhöhenverlust in der Rohrleitung. Für diesen Verlust h kann man die Formel

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

benützen, wenn d den Durchmesser, l die Länge der Rohrleitung und v die Geschwindigkeit des Wassers bedeuten. Man sieht also, dass der Druckhöhenverlust mit der Länge der Leitung und dem Gefäll zunimmt, mit der Rohrweite abnimmt. λ ist der sogenannte Rohrreibungskoeffizient, für welchen verschiedene Werte aufgestellt worden sind. Nach Weisbach ist

$$\lambda = 0,01439 + \frac{0,0094711}{\sqrt{v}} \quad (9)$$

Wie aus Gleichung (8) hervorgeht, hat man bei gegebenem Gefäll H und gegebener Rohrlänge l bei normaler Beschaffenheit der Röhren eine einzige Grösse in der Hand, um den Druckhöhenverlust klein zu machen: die Rohrweite. Und diese kann so bemessen werden, dass der Verlust praktisch nicht mehr in Betracht kommt. Damit stehen wir aber auf demselben Punkte, auf den wir schon bei der Beschaffenheit der Kanalanlage hingewiesen haben. Man hat näm-

lich auch die Mehrkosten für weitere Röhren gegen den Gefällsgewinn abzuwägen. Ein Beispiel soll zeigen, welche Rohrweite man vernünftigerweise zu wählen hat. Es sei für eine Hochdruckturbine H (brutto) = 60 m; $Q = 12$ Sek.-Liter, $l = 1000$ m. Die Leistung der Wasserkraft wäre nach Formel (4) $L_n = 10 \cdot 60 \cdot 0,012 = 7,2$ PS, wenn keine Reibung wäre, was ausgeschlossen ist. In Tabellen für Druckhöhenverluste findet man

für Röhren von 10 cm Durchm. $h_1 = 26,23$ m und die Leistung der Turbine bei einem Nettogefäll $H_1 = 60 - 26,23 = 33,77$ m ist $L_1 = 10 \cdot 0,012 \cdot 33,77 = 4,04$ PS;

für Röhren von 12,5 cm Durchmesser ist $h_2 = 9,34$ m, also $H_2 = 60 - 9,34 = 50,66$ m und die Leistung der Turbine $L_2 = 10 \cdot 0,012 \cdot 50,66 = 6,0792$ PS;

für Röhren von 15 cm Durchmesser ist $h_3 = 4,05$ m, also $H_3 = 60 - 4,05 = 55,95$ m und die Leistung der Turbine $L_3 = 10 \cdot 0,012 \cdot 55,95 = 6,714$ PS.

Die Rohrweite von 10 cm ist nicht rationell, mindestens sollten 12,5 cm Röhren genommen werden, und in Rücksicht auf eine mögliche Verstärkung der Anlage, wenn hinreichend Wasser vorhanden wäre, sogar Röhren von 15 cm Durchmesser.

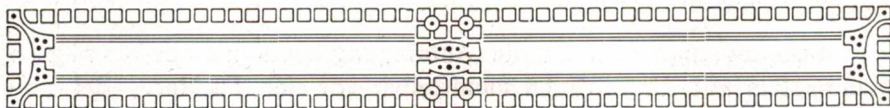
Schliesslich ist nicht zu übersehen, dass durch Rohrkrumme, Rohrschieber, Drosselklappen, Ventile und Veränderungen des Querschnittes weitere Druckhöhenverluste bedingt sind.

Eine Turbine kann im Lauf der Jahre auch dann an Leistung verlieren, wenn keine Beschädigung des Leitapparates oder der Schaufeln des Laufrades nachweisbar ist. Die Ursache kann kalkhaltiges Wasser sein. Setzen sich nämlich im Innern der Rohrleitung feste Bestandteile an, so wird dadurch nicht nur die Rohrweite geringer, sondern auch die Reibung grösser und beides bedingt einen nicht unerheblichen Druckhöhenverlust. Es fand sich eine Anlage, wo der Druckverlust infolge stark kalkhaltigen Wassers im Lauf der Jahre bis zu 21 % angewachsen ist. Solche Erscheinungen machen bei Neuanlagen die Untersuchung des Wassers auf seinen Kalkgehalt zur ökonomischen Pflicht, falls derselbe nicht schon bekannt ist. In diesem Falle sollte die Leitung in gewissen Abständen Handlöcher mit aufschraubbaren Deckeln haben, von welchen aus das Rohrrinnere von Zeit zu Zeit gereinigt werden kann. *)

*) Solche Handlöcher sind an den Turbinen der Abbildungen 21 und 34 zu sehen.

Sehr zu empfehlen ist die Anbringung eines zuverlässigen Manometers mit Absperrhahn unmittelbar vor der Turbine. Bei abgesperrter Turbine zeigt es den hydrostatischen Druck, entsprechend dem Bruttogefäll; bei laufender Turbine den hydraulischen Druck, welcher je nach dem Wasserverbrauch verschieden ist und das jeweilige effektive Nettogefäll anzeigt. Ein allfällig auftretender Fehler in der Rohrleitung, sei er durch eine undichte Stelle oder durch Ansetzen von Kalk bedingt, wird vom Manometer registriert, ersteres durch rasches Sinken, letzteres durch ganz allmähliges Zurückgehen. Dafür muss aber das Manometer von Zeit zu Zeit mit einem Kontrollmanometer verglichen werden.





Wasserräder.

Die Wasserräder sind eine sehr alte Erfindung. Geschichtlich be-
glaubigt findet man sie schon vor der christlichen Zeitrechnung in
Gegenden des Morgenlandes, die auf künstliche Bewässerung ange-
wiesen waren. Da traten sie wahrscheinlich an Stelle der von Sklaven
und Tieren bewegten Tretmühlen.

Bis in die neueste Zeit hat man nicht daran gedacht, sie nach
den Grundsätzen der Mechanik zu vervollkommen. Erst als die Tur-
binen mit den Wasserrädern in Konkurrenzkampf traten, wurden neue
Formen gebaut und der Wirkungsgrad der bestehenden Formen durch
sorgfältige Konstruktion verbessert.

An jedem Wasserrad findet man drei Kennzeichen: Die Welle
ist horizontal, das vom Rad aufgenommene Wasser ist in Bezug auf
das Rad in relativer Ruhe, die Umdrehungszahl per Minute ist nur ge-
ring.

Je nach dem durch das Gefäll bedingten Auftreffpunkt des Was-
sers in Bezug auf die Höhe der Achse unterscheidet man ober-
schlächlige (von slahen = schlagen), rückenschlächlige,
mittelschlächlige und unterschlächlige Räder. Da in Ob-
walden nur ober- und unterschlächlige Räder vorkommen, sollen nur
diese zwei Arten besprochen werden. Das ober- und unterschlächlige Rad ist ver-
hältnismässig stark vertreten und wird immer an Ort und Stelle ge-
baut, darum soll dieses Rad eine etwas eingehendere Besprechung
finden.

Das ober- und unterschlächlige Wasserrad.

Das ober- und unterschlächlige Wasserrad ist äusserlich gekennzeichnet durch
seinen grossen Durchmesser, durch die Form seiner Schaufeln (des-
wegen wird es auch Zellen- oder Kübelrad genannt), und durch seine
Bewegungsrichtung; es ist ein rechtläufiges Rad, während die
andern rückläufig sind.

Die Achse oder Welle wurde früher aus Holz, vorzüglich aus Eiche mit eingesetzten Zapfen hergestellt. Die Zapfen ruhten auf Steinlagern, was man jetzt noch beobachten kann (Fig. 10). Je nach der Breite des Rades kommt ein einfaches oder doppeltes Armsystem zur Anwendung; die Zahl der Arme eines Systems ist mindestens 4, gewöhnlich aber 6. Der Radkranz enthält die Schaufeln oder Zellen. Früher wurde das ganze Rad aus Holz gebaut, jetzt verbindet man gern Holz mit Eisen. Der Wellbaum und die Naben werden aus Eisen gemacht, das Uebrige aus Holz, die Radkränze werden durch Schraubenbolzen zusammengezogen. Sehr grosse Räder werden ganz aus Eisen gebaut. Eine gute Materialauswahl ist folgende: Die Achse, die Radkränze und die Schaufeln aus Eisen, die Arme aus Eisen oder Eichenholz und der Boden aus Tannenholz. Ein solches Rad wird bei guter Anstricherneuerung als unverwüstlich bezeichnet. Als normale Lebensdauer eines oberflächlichen Rades wurde von den Besitzern 20 Jahre angegeben. Die Räder 37 und 38 sind jedenfalls älter, ebenso dürfte sich für 44 und 62 bald die Notwendigkeit einer Erneuerung einstellen.

Beim oberflächlichen Rad wirkt das Wasser zumeist durch sein Gewicht. Da der Radkranz einen Boden hat, so bilden je zwei Schaufeln eine Zelle oder einen Kasten; in diese tritt das Wasser in der Nähe des Radscheitels ein. Wegen der Drehung des Rades füllen sich die Zellen nicht ganz, sondern nur bis zu einem gewissen Teil (Füllung). Die Drehung des Rades kommt nun dadurch zustande, dass, symmetrisch zu einem lotrechten Durchmesser, die einen Zellen ganz leer, die andern zum Teil mit Wasser gefüllt sind. Man könnte für jede Zelle das Wassergewicht und die Entfernung des Schwerpunktes der Wassermenge vom genannten Durchmesser bestimmen. Durch Summierung aller Drehmomente bekäme man das ganze Drehmoment, welchem das Rad seine Bewegung und seine Leistung verdankt. Wenn die Zellen in der Nähe des tiefsten Punktes angekommen sind, giessen sie das Wasser aus, dafür füllen sich die oben ankommenden Zellen, so dass das Rad trotz seiner Drehung immer in der gleichen Weise einseitig mit Wasser belastet ist und daher ein beständig wirkendes Drehmoment ausübt.

Die Grösse eines oberflächlichen Wasserrades richtet sich nach dem auszunützendem Gefäll. 2,5 m und 12 m sind die Grenzwerte für den Durchmesser. Die Wassermenge, die verarbeitet werden kann, liegt zwischen 50 (oder auch weniger) und 700 Sekundenlitern. Höhere Gefälle können mit einem Rad nicht ausgenützt werden, man müsste sie denn etagenartig übereinander bauen. Würde für eine verfügbare Wassermenge die Breite des Rades zu gross, so müsste man

zwei Räder auf derselben Achse oder zwei völlig unabhängige Räder vorsehen, was auch seine Vorteile hätte (Nr. 37 und 38).

Die Ausnützung der Energie des Wassers mit dem überschlächtigen Rad ist eine sehr vollkommene. Der Nutzeffekt liegt zwischen 50 und 80 % und nimmt allgemein mit der Radgrösse zu. Sehr sorgfältig gebaute grosse Räder stehen an Nutzeffekt den besten Turbinen nicht nach. Zugunsten dieses Rades spricht auch der Umstand, dass der Wirkungsgrad von der Wassermenge unabhängig ist. Es eignet sich deshalb vorzüglich für stark wechselnde Wassermengen.

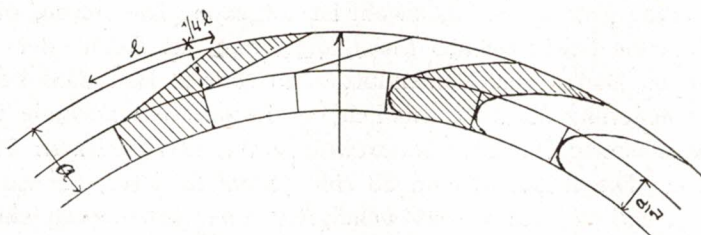


Fig. 8. Schaufelkonstruktion des überschlächtigen Wasserrades.

Wegen Gefällsverlusten ist der Durchmesser des Rades immer kleiner als der Abstand zwischen Ober- und Unterwasserspiegel. Bezeichnet man wie früher, das Gefäll mit H und die Tiefe des Rades (Fig. 8) mit a , so ist nach Bach die Radtiefe zu berechnen aus der Gleichung

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\sqrt[3]{H}}{6} \\ \text{oder für grössere Wassermengen} \\ a &= \frac{\sqrt[3]{H}}{4} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Ist z. B. $H = 8$ m, so ist $a = \frac{1}{6} \cdot 2 = 0,33$ m oder $a = \frac{1}{4} \cdot 2 = 0,5$ m. Die Schaufelteilung e wird so gewählt, dass $e = a$ oder $e = 1,25 a$ ist. Die Schaufelzahl berechnet sich aus dem Umfang des Rades und aus der Schaufelteilung e nach der Formel

$$n = \frac{2 \pi R}{e}$$

Zu bemerken ist, dass die Schaufelzahl durch die Zahl der Arme teilbar sein soll. Ergiebt die Rechnung eine andere Zahl, so muss etwas an der Schaufelteilung geändert werden. — Beispiel: Durchmesser des Rades 4,8 m, angenommene Schaufelteilung 30 cm, Zahl der Arme 6. Der Umfang des Rades ist $4,8 \cdot 3,14 = 15,08$ m. Nun aber ist

$n = 15,08/0,3 = 50,27$. Diese Zahl ist durch 6 nicht teilbar, die nächstliegende Zahl ist 48. Wir wählen also 48 Schaufeln und nun wird die neue Schaufelteilung $1508 : 48 = 31,4$ cm. Bezeichnet man den Füllungsgrad, der zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3}$ genommen wird, mit m , die Umlaufgeschwindigkeit des Rades mit u , so ist die Breite des Rades zu berechnen aus der Formel

$$b = \frac{Q}{m \cdot a \cdot u} \quad (11)$$

Z. B. $Q = 0,2 \text{ m}^3$, $m = \frac{1}{3}$, $a = 0,3 \text{ m}$, $u = 1,5 \text{ m}$, so $b = 1,33 \text{ m}$.

Würde die Formel (11) eine zu grosse Radbreite ergeben, so müsste man, um ein Durchbiegen der Schaufeln zu verhindern, in der Mitte noch einen Radkranz anbringen und den Einlauf des Wassers teilen. Das wäre immer noch billiger, als zwei getrennte Räder auf derselben Welle. Solch' grosse Räder kommen hierzulande nicht in Betracht. Den grössten Durchmesser hat Nr. 13 mit 8,7 m. Es ist aber für sehr geringe Wassermengen gebaut, hat enge Schaufelung und geringe Tiefe (25 cm). An der untern Grenze des Durchmessers befindet sich Nr. 19 mit 2,5 m. Die grösste Breite hat Nr. 62 mit 1,3 m.

Von besonderer Wichtigkeit für das überschlächtige Rad ist die Schaufelform. Bei Verwendung von radialen Schaufeln würde das Wasser von den Zellen zwar gut geschluckt, aber sie würden zu früh ausleeren. Bereits nach einer Viertelsdrehung steht nämlich die Schaufel horizontal und die wasserführenden Schaufeln würden nicht einmal den vierten Teil des Radumfanges bilden. Man muss also die Schaufel nach aufwärts brechen, um ein zu frühes Ausgiessen zu verhindern. Je stärker die Schaufeln gebrochen werden, desto länger behalten sie das Wasser, ein an sich ganz günstiger Umstand. Dadurch kommen aber die Schaufeln so nahe aneinander, dass der freie Raum an der engsten Stelle zweier benachbarter Schaufeln (der Schluck) zu klein wird, das Wasser tritt zu langsam in die Zellen, die Luft kann nicht entweichen und das Rad spritzt. Was also durch spätes Ausgiessen gewonnen wurde, geht an der oberen Radhälfte verloren.

Die Schluckbreite wird in der Regel gleich der halben Höhe des aus dem Gerinne tretenden Wasserstrahls gemacht.

Alle überschlächtigen Räder des Verzeichnisses haben hölzerne Schaufeln. Eine solche Schaufel (Fig. 8) besteht aus zwei Teilen. Die Riegelschaufel ist in der Richtung des Radius gestellt und hat eine Breite $0,4a$ bis $0,5a$. Die Stoßschaufel geht nach dem folgenden Teilungspunkt und zwar $\frac{1}{4} a$ über denselben hinaus; man

nennt das die Ueberdeckung der Schaufeln. Jetzt entleert sich eine Zelle erst dann, wenn die Stoßschaufel horizontal steht.

Da trotz der geringen Umlaufgeschwindigkeit des Rades die Fliehkraft des Wassers nicht gleich Null ist, so giesst das laufende Rad etwas früher aus, als es der Schaufellage beim ruhenden Rad entsprechen würde. Gerade weil das Wasser in der Zelle möglichst tief sinken soll, durch die Fliehkraft aber nach aussen strebt, müssen die oberflächlichen Räder möglichst langsam laufen. Je nach der Grösse des Rades beträgt die Umlaufgeschwindigkeit 1,3—3 m. Daraus ergibt sich eine sehr kleine Tourenzahl.

Eine Art Schnellläufer von einem oberflächlichen Rad ist Nr. 9, das beim kleinsten Durchmesser eine Umlaufgeschwindigkeit von ca. 2,5 m hat, dennoch spritzt das Rad nicht im geringsten, da die einzelne Zelle nur wenig Wasser bekommt. Trotzdem ist die Kraftleistung dieses Rades eine beträchtliche, weil ein Stoss, der einem Gefäll von ca. 1 m entspricht, zur Verwendung kommt; allerdings kann dies für ein oberflächliches Rad nicht als normale Wasserführung bezeichnet werden.

Die Zuführung des Aufschlagwassers geschieht ausnahmslos in einem hölzernen Kanal von rechteckigem Querschnitt, den man das Gerinne nennt. Die Breite des Wasserstrahls muss um wenigstens geringer sein, als die lichte Breite des Rades, damit die Luft auch seitlich aus den Zellen entweichen kann. Wenn ein Reservoir oder eine Art Mühlteich vorhanden ist, kann am Auslauf zweckmässig eine Spansschütze angebracht werden. Es ist dies eine Wand, die quer zum Gerinne steht und durch Hebel oder Zahnrad gehoben oder gesenkt werden kann. Damit kann das Aufschlagwasser dem Kraftbedarf angepasst werden. Es fand sich bei keinem oberflächlichen Rad eine Spansschütze, sondern nur Vorrichtungen, um das Wasser auf das Rad oder in den Leerlauf zu leiten. Dafür sind zwei verschiedene Systeme in Gebrauch.

Das eine besteht in einer Bodenklappe, die etwas vom Ende des Gerinnes entfernt ist. Die Klappe hängt an einem belasteten Hebel und kann durch Draht- oder Seilzug gehoben (Leerlauf) oder gesenkt werden (Volllauf). Das Wasser fällt bei offener Klappe durch ein senkrechtcs Abfallrohr in den Unterwassergraben (Fig. 9). Auf diese Weise könnte auch der Wasserzufluss reguliert werden, aber mit Verlust des überschüssigen Wassers.

Das zweite Auskehrsystem primitiverer Art besteht darin, dass das letzte Stück des Gerinnes nach der Seite beweglich ist; das Wasser fällt bei Leerlauf neben das Rad hinab (Fig. 10). Das wäre eigentlich

das Urbild einer Schwenkdüse, wie sie, allerdings in besserer Ausführung, bei den wasserverschwendenden Turbinenregulierungen in Gebrauch ist. Die an zweiter Stelle genannte Auskehrungsart hat den Nachteil, dass das Wasser stark spritzt und im Winter die Vereisung des Rades befördert.

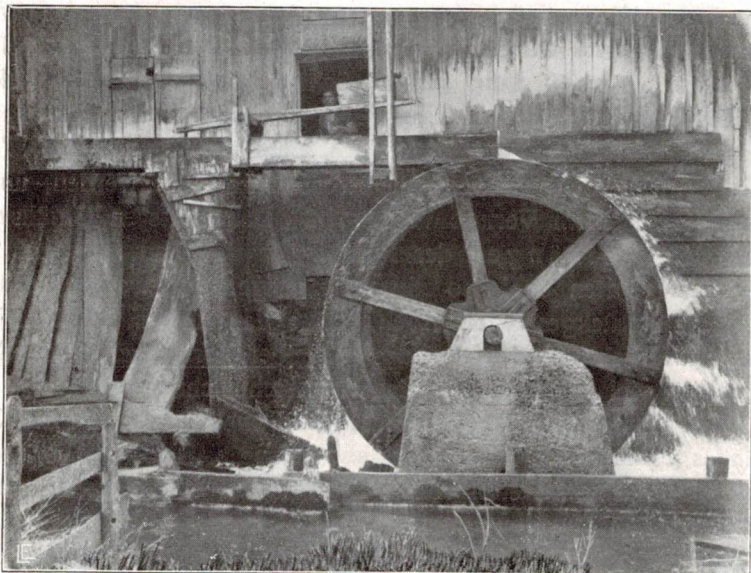


Fig. 9. Momentaufnahme des Rades Nr. 2. Bodenklappe.

Durch das Gerinne wird das Wasser in der Nähe des Scheitels auf das Rad geleitet und die Anordnung muss so sein, dass der austretende Strahl sich der Schaufelform anschliesst. Der Strahl ist eine Wurfparabel, die stetig gekrümmt ist. Daraus folgt, dass man nur mit Schaufeln von Blech eine dem Strahl entsprechende Form herstellen kann (Fig. 8, rechte Seite). Um die notwendige Tourenzahl zu erreichen, muss die absolute Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers etwas grösser sein als die Umlaufgeschwindigkeit des Rades.

Das oberflächliche Rad darf durchaus nicht im Unterwasser tauchen, da seine Bewegung derjenigen des Unterwassers entgegengesetzt ist, das Rad muss frei hängen. Der Unterwassergraben muss in der Nähe des Rades ziemlich starkes Gefäll haben, damit das Wasser rasch abfließt.

Die Gefällsverluste am oberflächlichen Rad sind, absolut genommen, ganz bedeutend, kommen aber prozentual umso weniger in Betracht, je grösser das Rad ist. Zunächst darf das Rad am Boden-

brett des Gerinnes nicht streifen. Da ferner die wesentliche Arbeitsleistung am Rad durch das Gewicht des Wassers in den Zellen als Kraftfaktor und die Projektion der Fallbewegung auf einen senkrechten Durchmesser als Wegfaktor zustande kommt, so fällt für den Weg nur die Entfernung des Spiegels der obersten Zelle bis zur untersten in Betracht. Der daraus entstehende Verlust kann aber zum grössten Teil zurückgewonnen werden, wenn man das Wasser, wie schon bemerkt wurde, mit etwas grösserer Geschwindigkeit eintreten lässt. Es trifft dann auf die Schaufelkrümmung und wirkt bei guter Konstruktion zum Teil durch seine lebendige Kraft, und dann erst in der Zelle durch sein Gewicht; doch kann der Eintritt des Wassers bei diesem Rad nicht vollkommen stossfrei gemacht werden, und das ist immer mit einem Verlust verbunden. Den grössten Gefällsverlust bedingt das Freihängen des Rades. Da das Rad auch bei Hochwasser nicht waten darf, so muss es so gehängt werden, dass der Spiegel des zurückgestauten Hochwassers den untern Rand nicht erreicht. Natürlich hängt dann das Rad bei normalem oder kleinem Wasserstand viel zu hoch, aber das lässt sich nicht vermeiden.

Diese angeführten Gefällsverluste sind unabhängig von der Grösse des Rades vorhanden. Gehen auf diese Weise z. B. 40 cm verloren, so macht das bei einem Gefäll von 4 m 10 %, bei einem Gefäll von 8 m nur 5 % aus.

Eine Regulierung des oberflächigen Rades kommt kaum in Betracht, wenigstens fanden wir nichts derartiges vor. Da die Wassermenge nach der Jahreszeit und der Witterung bedeutenden Schwankungen unterliegt, so läuft das Rad bei gutem Wasserstand und normaler Belastung auch mit der richtigen Tourenzahl, bei kleiner Belastung schneller; bei wenig Wasser läuft es mit geringer Belastung normal und mit voller Belastung kann dann überhaupt nicht gearbeitet werden.

Bei allen Wasserradsystemen ist wegen der geringen Tourenzahl in den meisten Fällen eine starke Uebersetzung notwendig. Man erreicht dies durch ein Kammrad, dessen Durchmesser wenig geringer ist als der des Rades. Das Kammrad kann entweder am Radkranz (Nr. 74) oder für sich auf der Welle befestigt sein. Es besteht in der Regel ganz aus Holz oder aus Eisen mit hölzernen Zähnen. Diese greifen in einen eisernen Trieb oder Kolben von kleinem Durchmesser ein. Auf der Kolbenwelle sitzen die Riemenscheiben, um eine weitere Vermehrung der Tourenzahl zu erreichen.

Als Merkwürdigkeiten unter den Anlagen mit oberflächigen Wasserrädern verdienen die Nummern 9 und 13 besondere Erwähnung.

Im Kleinteil befindet sich die letzte Schlegelsäge des Kantons. Sie wird in einigen Jahren auch verschwunden sein; darum rechnen wir es uns zur Pflicht an, dieses ohne Zweifel primitivste System einer mit Kraft betriebenen Säge vor der Vergessenheit zu bewahren. Hier haben wir einen Fall, wo das Wasserrad keine Uebersetzung braucht. Die Welle des Rades ist ein langer 60 cm dicker Eichbaum, dessen eiserne Zapfen in Steinlagern ruhen. Unter dem Gatter trägt der Baum an zwei gegenüberliegenden Stellen je eine Rolle von 30 cm Achsenlänge und 15 cm Durchmesser. Das Gatter ist nach unten verlängert, durch einen weitem Querbalken verstärkt und hat in der Mitte als Verbindung der beiden Querbalken einen eisenbeschlagenen



Fig. 10. Schlegelsäge in Kleinteil. Seitlich drehbares Gerinne.

Klotz nach Art eines Rammbären. Dieser Klotz hat eine nach dem Umfang der Rollen ausgeschweifte Nase. Wenn nun die Welle sich durch die Kraft des Rades dreht, so greift eine Rolle in die Nase ein und hebt das Gatter empor. Bei weiterer Drehung entfernt sich die Rolle und das Gatter fällt durch sein bedeutendes Eigengewicht, und das Sägeblatt schneidet. Gleichzeitig wird nach der ältern Methode der „Stupfschaltung“ der Wagen mit dem Holz um ein Stück vorgeschoben. Da das Gatter bei jeder Umdrehung des Rades zweimal fällt, und das Rad, wie schon erwähnt, sehr schnell läuft, so werden bei gutem Wasserstande 37 Stösse per Minute ausgeführt. Damit das Aufschlagen des Gatters abgeschwächt wird, ist unter dem erwähnten Klotz durch Sägmehl eine Art Puffer gebildet, womit zugleich die Hubhöhe in

einfachster Weise reguliert wird. Bei Wassermangel wird nämlich mehr Sägmehl untergeschoben, so dass der Hub kleiner wird.

Welch ein gewaltiger Unterschied besteht doch zwischen der Schlegelsäge und dem modernen Vollgang betreff der Arbeitsleistung!

Im Oekonomiegebäude des Hotel „Kreuz“ in Sachseln befindet sich das grösste oberflächliche Rad des Kantons. Die Anlage wurde 1830 für Betrieb einer Mühle gebaut. Seither ist das Rad öfters in gleich bleibender Grösse erneuert worden. Ein weiterer Neubau soll aber nicht mehr erfolgen. Beachtenswert ist das komplizierte Räderwerk, das mit der Grösse des Rades zusammenhängt. Die beistehende Fig. 11 soll die Verhältnisse erläutern. 1 ist das Rad von 8,7 m Durchmesser; 2 das erste Kammrad von 4,6 m Durchmesser mit Innenzahnung; 3 ein eiserner Kolben von 90 cm Durchmesser; 4 ein zweites Kammrad von 2,4 m Durchmesser mit Aussenzahnung; 5 ein kleiner eiserner Kolben; auf seiner Welle sitzt endlich die grosse Riemenscheibe (6) zum Antrieb der Transmission.

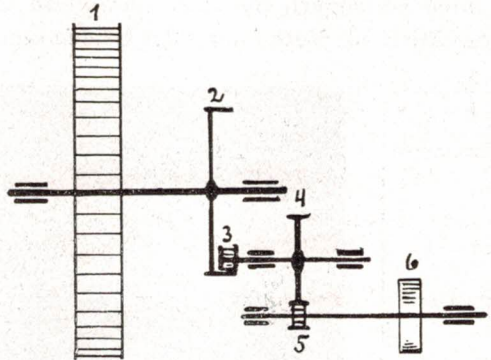


Fig. 11. Uebersetzungsskizze des Rades. Nr. 13.

Hiebei drängen sich uns wieder ähnliche Gedanken auf wie bei der Schlegelsäge. Wenn wir uns neben dieser Einrichtung, die fast den Raum eines Hauses einnimmt, einen Drehstrommotor von 5 PS denken, welcher ein Gewinn an Platz, an Geld, an Leistungsfähigkeit und Bequemlichkeit im Betrieb würde dabei erreicht werden!

Das unterschlächtige Wasserrad.

Die einfachste Form des unterschlächtigen Wasserrades ist das sogenannte Stossrad mit radialen Schaufeln. So waren die alten Schiffsmühlräder gebaut und so bauen die Knaben ihre Wasserräder heute noch. Da bei dieser Bauart die Schaufeln schief aus dem Wasser treten, so ist damit ein nicht geringer Kraftverlust verbunden. In besserer Ausführung ist das unterschlächtige Rad als sogenanntes Kropfrad bekannt.

Bei richtiger Ausführung ist unmittelbar vor dem Rad eine Spannschütze zur Regulierung des Oberwassers angebracht. Von da geht das

Wasser zuerst in konvexem Gerinne nach dem Rad, worauf sich das Kropfgerinne dem äussern Radumfang anschliesst (Fig. 12). Der seitliche Austritt des Wassers wird durch die Wand des Gerinnes verhindert, doch muss zum Entweichen der Luft ein kleiner Spielraum vorhanden sein. Der Boden des Rades ist durch Schlitze ventiliert.

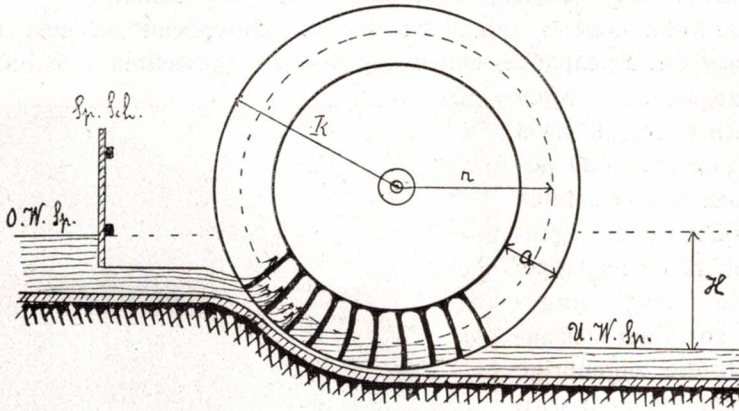


Fig. 12. Unterschlächtiges Wasserrad, schematisch.

Das Wasser wirkt zunächst durch seinen Stoss, zum grössten Teil aber durch seine Bewegungsenergie und bei grösserem Gefäll, wie bei Nr. 70 und Nr. 74, auch durch sein Gewicht. Wegen der Stosswirkung geht ein bedeutender Teil der Energie des Wassers verloren, so dass unterschlächtige Räder kaum einen höheren Nutzeffekt als 50 % erreichen, bei einer weniger guten Bauart bloss 30 %. Für die Krümmung und Stellung der Schaufeln ist die Forderung des senkrechten Austrittes massgebend. Das hat aber seine Schwierigkeiten; denn die Schaufelkrümmung müsste je nach der Höhe des Unterwassers eine verschiedene sein. Gewöhnlich legt man der Schaufelstellung einen mittlern Stand des Unterwassers zu Grunde. Da das unterschlächtige Rad rückläufig ist, also der eingetauchte Teil mit dem Wasser geht, so kann hier die Forderung des Freihängens fallen gelassen werden.

Für die Konstruktion können folgende Zahlen als Anhalt dienen. Die Tiefe des Rades $a = 0,5 H$, die Schaufelteilung $e = 0,75 a$ oder $e = a$. Die Breite richtet sich nach der Wassermenge Q , der Radgeschwindigkeit u , und dem Füllungsgrad m , und es besteht die Gleichung

$$b = \frac{Q}{m \cdot a \cdot u}$$

wie beim overschlächtigen Rad. Das dort Gesagte gilt auch hier über das Verhältnis der Arm- und Schaufelzahl.

Eine originelle Anlage mit unterschlächtigem Rad ist Nr. 3 (Fig. 13). Mit Hilfe eines Drahtes, der über Räder und Rollen läuft, werden die Arbeitsmaschinen in der zirka 60 m entfernten Werkstätte angetrieben. Auch die Wasserauskehrung wird vom Haus aus durch Drahtzüge bewirkt. Wegen der vielen kraftverzehrenden Zwischenmaschinen ist die Leistung des Rades aber unbedeutend.

Eine vollkommene Anlage ist Nr. 74. Durch eine Schleuse wird das Wasser des Erlenbaches einem aus Beton hergestellten 2 m breiten Kanal zugeführt. Nach dem Rechen folgen zwei nebeneinander liegende Bodenklappen mit belasteten Hebeln. Zu jedem Sägen-gang gehört eine Klappe. Wird ein Gang ausgeschaltet, so öffnet sich automatisch die zugehörige Klappe und dadurch wird einigermassen für den andern Gang die Tourenzahl eingehalten. Vor dem Rad ist eine Schütze mit seitlichem Leerlauf. Die Anlage hat durch das Hochwasser von 1910 gelitten, so dass jetzt zu viel Unterwasser und damit Gefällsverlust vorhanden ist.

Zusammenfassend lässt sich über Nachteile und Vorteile der Wasserräder Folgendes sagen. Der Wirkungsgrad ist kleiner als bei Turbinen; eine

Ausnahme machen grosse und sorgfältig gebaute overschlächtige Räder. Die geringe Tourenzahl macht eine starke mit Kraftverlust und bedeutenden Kosten verbundene Uebersetzung mit Kammrädern notwendig. Das Wasserrad ist nicht nur eine schwere, sondern auch eine schwerfällige Maschine, namentlich in Bezug auf die Regulierfähigkeit, auf die man meistens ganz verzichtet. Die wechselnde Wassermenge macht sich mehr geltend als bei Turbinen; am besten stellt sich da wiederum



Fig. 13. Anlage mit unterschlächtigem Wasserrad im Seeboden.

das oberflächliche Rad. Da die Wasserräder vielfach im Freien aufgestellt sind, unterliegen sie der Vereisung, hingegen vertragen sie schwimmendes Grundeis besser als die Turbinen. Für grosse Gefälle und für elektrische Betriebe können sie gar nicht angewendet werden.

Zu Gunsten der Wasserräder spricht der schon erwähnte Umstand, dass sie zum grössten Teil aus Holz gebaut sind und im Land verhältnismässig billig hergestellt werden können. Zudem sind sie wegen ihrer robusten Bauart und gröbern Wirkungsweise gegen unfachgemässe Behandlung ziemlich unempfindlich. Eine Eigentümlichkeit der Wasserräder besteht darin, dass sie für ganz kleine Leistungen als sogenannte Kleinmotoren, aber auch für ganz grosse Leistungen nicht gebaut werden können. Damit stehen sie im Gegensatz zu den Turbinen, die von 0,1 PS bis 15000 PS heute schon ausführbar sind.

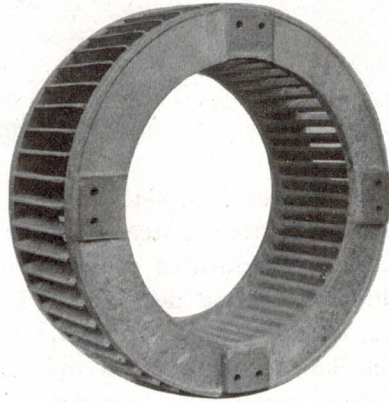
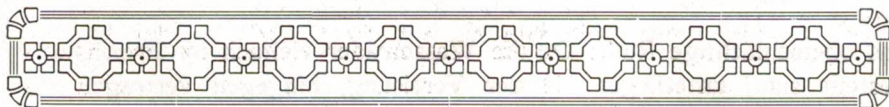


Fig. 14. Tangentialrad.

Eine Uebergangsform zwischen dem unterschlächtigen Wasserrad und der Löffelturbine ist das sogenannte Tangentialrad, das noch in drei Exemplaren vertreten ist (Fig. 14). Es ist ganz aus Eisen gebaut, die Zuflussöffnung ist rechteckig. Wegen seines geringen Wirkungsgrades dürfte es wohl bald von den Turbinen ganz verdrängt werden.





Turbinen.

Die Turbinen sind aus rein mathematischer Ueberlegung hervorgegangen. Den ersten Vorstoss tat Daniel Bernoulli in seiner 1738 veröffentlichten „Hydrodynamik“. Euler gab 1750 eine ausführliche Theorie der Wasserräder, schlug gekrümmte Schaufeln vor und erfand den Leitapparat. Im gleichen Jahr baute Segner das nach ihm benannte Wasserrad als Vorbild aller Reaktionsturbinen. Der Name Turbine rührt von Burdin her, der 1824 einem von ihm konstruierten horizontalen Wasserrad mit gekrümmten Schaufeln diesen Namen gab. Fourneyron verfolgte die Gedanken Eulers weiter und entwarf 1827 die erste brauchbare Turbine, die aber erst 1833 ausgeführt wurde; es war eine vollbeaufschlagte Reaktionsturbine. Im Jahre 1827 erfanden Real und Pichon die erste Aktionsturbine. 1837 wurde von Henschel-Jonval eine Ueberdruckturbine gebaut, die sich lange behauptete, aber wegen ihrer geringen Regulierfähigkeit aufgegeben wurde. 1849 erfand Francis eine Turbine, die aber eine Freistrahlturbine war. 1850 baute Schwamkrug eine Radialturbine mit horizontaler Achse und innerem Aufschlag. Ins Jahr 1856 fällt die Erfindung einer Freistrahlturbine durch Girard und ins Jahr 1884 die des Peltonrades.

Seither ist auf diesem Gebiet mit grösstem Erfolg gearbeitet worden, und die Schweiz darf es sich zur Ehre anrechnen, auch auf dem Gebiet des Turbinenbaues führende Firmen zu haben. Die Gegenwart stellt aber auch immer kühnere Forderungen an den Turbinenkonstrukteur, sowohl was die auszunützenden Gefälle, als die Grösse der Einheiten betrifft. Ein Maschineningenieur, der sich diesem Spezialgebiet zuwendet, findet darin eine Lebensaufgabe.

Als äussere Kennzeichen einer Turbine fallen zunächst in die Augen: Die ausschliesslich eiserne Konstruktion, die kleinen Abmessungen im Vergleich mit Wasserrädern und die höhere Tourenzahl. Während die Wasserräder nur liegende Wellen haben, findet man bei Turbinen liegende und stehende Wellen. Das charakteristische Merk-

mal ist aber die Arbeitsweise des Wassers in den Turbinen. Im Gegensatz zur Arbeitsweise beim Wasserrad hat das Wasser in Bezug auf den bewegten Teil der Turbine, das Laufrad, eine relative Bewegung, es streicht während seines ganzen Verbleibens in der Turbine den gekrümmten Schaufeln entlang und wird dadurch gezwungen, sein Arbeitsvermögen möglichst vollkommen an das Laufrad abzugeben. Um dem Wasser zur Erreichung einer solchen Arbeitsweise die richtige Eintrittsrichtung und Geschwindigkeit zu erteilen, ist ein Leitapparat vorhanden, der für die Turbine von ganz hervorragender Wichtigkeit ist. Er ist entweder als ganzes Rad, Leitrad, ausgebildet, kann aber auch aus einzelnen Schaufeln (Zellen) oder gar nur aus einer einzigen Düse bestehen. Das Laufrad trägt die jedem Turbinensystem eigenen Schaufeln. Die Schaufelkonstruktion muss zwei Bedingungen erfüllen: Stossfreien Eintritt und senkrechten Austritt des Wassers, mit andern Worten, möglichst kleine Eintritt- und Austrittsverluste. Weitere Teile einer Turbine sind das Gehäuse, in welches vielfach der Leitapparat eingebaut ist, und die verschiedenen Vorrichtungen zur Regulierung des Wasserzuflusses.

Eine Einteilung der Turbinen kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus getroffen werden. Ist der Leitapparat als volles Rad ausgebildet und werden alle Schaufeln des Laufrades gleichzeitig vom Wasser getroffen, so sprechen wir von einer vollbeaufschlagten Turbine oder Vollturbine. Sie wird naturgemäss nur bei grossen Wassermengen zur Anwendung kommen. Etwas Entsprechendes existiert bei den Wasserrädern nicht.

Werden nur einzelne Schaufeln gleichzeitig vom Wasser getroffen, so besteht auch der Leitapparat nur aus einzelnen Schaufeln und man hat eine teilweise beaufschlagte oder Partialturbine. Dabei versteht man unter dem Beaufschlagungsgrad das Verhältnis aus dem beaufschlagten Radumfang zum Umfang des ganzen Rades. Diese Turbinenart wird bei kleinern Wassermengen zur Verwendung kommen. Alle Wasserräder gleichen bezüglich der Beaufschlagung den Partialturbinen.

Eine andere Einteilung erhält man in Rücksicht auf die Geschwindigkeit des Aufschlagwassers. Die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers aus dem Leitapparat ist nach Gl. (6) $v = 0,96 \sqrt{2gH}$.

Verwendet man das ganze Gefäll H für die Austrittsgeschwindigkeit, so hat man eine Aktions-, Druck- oder Freistrahlturbine. Die letztere Bezeichnung rührt daher, weil die Schaufeln des Laufrades sich erweitern, so dass der Strahl nicht eingeeengt wird und keine Pressung erfährt.

Wird jedoch nicht das ganze Gefäll verwendet, sondern nur etwa die Hälfte, so hat man eine Reaktions-, Ueberdruck- oder Preßstrahl turbine. Das Wasser verlässt also bei diesen Turbinen den Leitapparat mit einer Geschwindigkeit, die geringer ist, als die aus der Gefällshöhe berechnete; der übrige Teil der Geschwindigkeit giebt im Verein mit der Masse des Wassers einen Betrag von kinetischer Energie, der konstant auf die Schaufeln des Laufrades presst. Damit die Pressung erhalten bleibt, müssen sich die Schaufeln verengen. Man erhält den Geschwindigkeitskoeffizienten für Ueberdruckturbinen bei Verwendung des halben Gefälles für die Austrittsgeschwindigkeit nach Formel (6). Es ist dann

$$v_2 = 0,96 \sqrt{2g \cdot 0,5 H} = 0,96 \sqrt{2g H} \cdot \sqrt{0,5} = 0,96 \cdot 0,707 \sqrt{2g H} = 0,68 \sqrt{2g H}.$$

Es ist also bei den Druckturbinen die Austrittsgeschwindigkeit

$$v_1 = 0,96 \sqrt{2g H}$$

und für Ueberdruckturbinen

$$v_2 = 0,68 \sqrt{2g H}.$$

Der Geschwindigkeitskoeffizient der verschiedensten Turbinensysteme liegt also zwischen 0,68 und 0,96.

Es gibt noch einen dritten Gesichtspunkt, von welchem aus man die Turbinen unterscheiden kann. Wenn das Aufschlagwasser parallel der Achse eintritt, hat man eine Achsialturbine; fliesst aber das Wasser in der Richtung des Radius zu, so hat man eine Radialturbine, und zwar, wenn das Wasser von innen nach aussen geht, eine Turbine mit innerem Aufschlag oder eine innenbeaufschlagte, wenn aber das Wasser von aussen nach innen geht, eine Turbine mit äusserem Aufschlag oder eine aussenbeaufschlagte Turbine. Eine besondere Art bilden schliesslich jene Turbinen, bei welchen das Wasser in der Richtung der Tangente das Laufrad trifft; man nennt sie Tangentialturbinen.

Eine Freistrahlturbine kann teilweise- oder vollbeaufschlagt sein, eine Preßstrahl turbine aber lässt ihrer Natur nach nur volle Beaufschlagung zu. Die Aktions- und Reaktionsturbinen unterscheiden sich noch in einem weitem wichtigen Punkt. Die erstere muss frei ausgiessen, sie darf nicht im Unterwasser waten. Damit ist nun, ähnlich wie beim überschlächtigen Wasserrad, ein Gefällsverlust verbunden, der aber umso weniger in Betracht kommt, je höher das Gesamtgefäll ist. Eine Hochdruckturbine kann daher auf dem Boden des Maschinenhauses aufgestellt werden, während eine Niederdruckturbine, um den Gefällsverlust möglichst gering zu machen, unter den Maschinenraum

verlegt werden muss. Das Freihängen muss so bemessen werden, dass das Laufrad in keinem Fall vom zurückgestauten Wasser erreicht wird.

Den erwähnten Nachteil der Freistrahlturbinen vermeiden die Ueberdruckturbinen. Da sie ohnedies allseitig mit Wasser gefüllt sind, können sie ohne Verlust im Unterwasser tauchen; sie haben deshalb unter dem durch Hochwasser verursachten Steigen des Unterwassers wenig zu leiden. Die Ueberdruckturbinen werden mit Saugrohr versehen, welches ins Unterwasser eintaucht. Durch die Wirkung des mit Wasser gefüllten Saugrohrs hat das austretende Wasser einen geringen Luftwiderstand zu überwinden. Die Verhältnisse liegen ähnlich wie bei einer Dampfmaschine, die mit Kondensation arbeitet. Obwohl der Luftdruck in Meereshöhe eine Wassersäule von 10,33 m zu tragen vermag, liegt dort die praktische Grenze der Höhe eines Saugrohres zwischen 7 und 7,5 m. Durch höhere Lage der Turbine über dem Meeresspiegel wird die Höhe des Saugrohres noch weiter reduziert. Bei der Anlage Nr. 39 ist mit 6,75 m maximaler Saughöhe offenbar die Grenze erreicht (siehe Seite 54).

Da die meisten modernen Arbeitsmaschinen eine grosse Tourenzahl verlangen, so eignen sich die Turbinen zu deren Antrieb besser als Wasserräder. Namentlich die Hochdruckturbinen können mit raschlaufenden Maschinen, z. B. Dynamomaschinen, Ventilatoren, Kreisel-pumpen usw. direkt gekuppelt werden (Fig. 33). Damit fallen die kraft-, geld- und raumverzehrenden Transmissionen weg.

Eine ziemlich weit gehende Regulierung der Tourenzahl und Anpassung an das vorhandene Betriebswasser ist mit Turbinen leicht möglich. Die Regulierung geschieht in dem Sinn, dass bei Volldruckturbinen die Leitrad-schaufeln durch gemeinsame Drehung derselben verschiedene Wassermengen durchlassen. Immerhin kann dies nicht als eine vollkommene Regulierung bezeichnet werden, da die Schaufelabstände des Laufrades unverändert bleiben. Ein zu starkes Einschnüren des Aufschlagwassers ist mit der Gefahr verbunden, dass der Wasserstrahl im Laufrad oder im Saugrohr abreisst, was mit dem Wesen einer Ueberdruckturbine ganz unvereinbar wäre.

Bei Freistrahlniederdruckturbinen kann der Beaufschlagungsgrad und bei Freistrahlniederdruckturbinen kann der Querschnitt der Düse verändert werden. Die Regulierung durch Handrad genügt für die meisten Betriebe. Wo ein grösserer Gleichförmigkeitsgrad verlangt wird, z. B. beim Antrieb von Dynamomaschinen, sind automatisch wirkende Regulierungen vorhanden. Für das Studium der recht komplizierten automatischen Turbinenregulatoren verweisen wir auf die angeführte Literatur.

Was eine moderne Regulierung leisten kann, zeigt das in Fig. 15 dargestellte Regulierungsdiagramm der Turbinen des E. W. E.-L. Die Zeit des Regulierungsvorganges ist horizontal von links nach rechts, die Änderung der Tourenzahl vertikal von unten nach oben dargestellt. Die grösste Schwankung der Tourenzahl bei plötzlicher Entlastung um 2090 P.S. betrug 7 %, der Regulierungsvorgang dauerte 12 Sekunden und dann war die Tourenzahl bei Leerlauf nur um 3 % grösser, als bei der vorausgegangenen Belastung. Bei geringeren Schwankungen in der Belastung ändert sich die Tourenzahl entsprechend weniger, so dass der durch die angewendete Regulierungsvorrichtung (System Bell) erreichte Gleichförmigkeitsgrad alle Erwartungen übertraf.

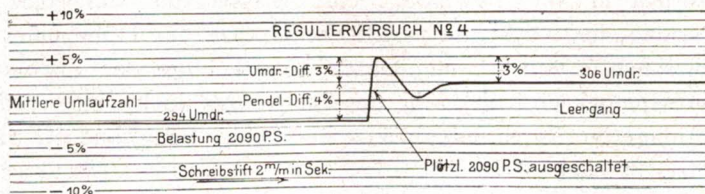


Fig. 15. Regulierungsdiagramm.

In ein ganz neues Stadium ist die Regulierung der Wasserkraftmaschinen durch Zuziehung von Elektromotoren getreten. Der erste Vorteil der Motoren ist zunächst der Umstand, dass Anlagen mit sehr stark wechselndem Wasserstand das ganze Jahr in normalem Betrieb erhalten werden können. Ausserdem übernehmen die Motoren in einfachster Weise die Regulierung des Betriebes. Der Drehstrommotor ändert nämlich trotz verschiedener Belastung seine Tourenzahl nicht mehr als um 5 % und sein Stromverbrauch richtet sich genau nach der zu leistenden Arbeit. Bei starker Belastung sinkt die Tourenzahl der Wasserkraftmaschine, aber durch das Eingreifen des Motors wird dies verhindert. Umgekehrt würde bei starker Entlastung die Wasserkraftmaschine zu schnell laufen; in diesem Falle aber bremst der Motor. Auf diese Weise wird ein für die meisten Betriebe ausreichender Gleichförmigkeitsgrad erreicht, und die Anschaffung eines teuren automatischen Regulators fällt fort.

Allerdings ist die erwähnte Verhinderung einer höhern Tourenzahl durch die Bremswirkung des Motors eine Regulierung durch Kraftvernichtung, sie arbeitet mit dem Betriebswasser nicht ökonomisch, da auch bei geringem Kraftbedarf dieselbe Wassermenge verbraucht wird. Wo aber kein Reservoir vorhanden ist, kommt diese Wasserverschwendung nicht in Betracht. Wenn ferner an demselben Wasserlauf mehrere Anlagen so aufeinander folgen, dass die untere vom

Abwasser der obern betrieben wird, so darf überhaupt nicht mit wassersparenden Vorrichtungen gearbeitet werden, weil dadurch der untere Besitzer in seinem Betriebe gestört und geschädigt wird.

Der Nutzeffekt der Turbinen ist im allgemeinen höher als derjenige der Wasserräder. Uebrigens hängt er bei derselben Turbinenart von der Grösse und der Ausführungsart ab. Obwohl bei amtlichen Abnahmen von Turbinen die Diagramme für den Nutzeffekt bis auf 85 % gehen, rechnet man im Mittel doch nur mit 75 %, eine Zahl, welche auch der Formel (4) zu Grunde gelegt wurde. Uebrigens ist der Nutzeffekt bei derselben Turbine nach der Füllung verschieden.

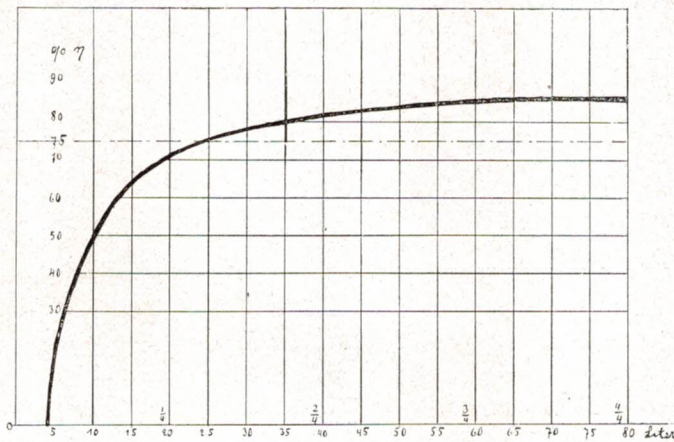


Fig. 16. Zusammenhang zwischen Wassermenge (Füllung) und Wirkungsgrad η .

Die Figur 16 zeigt für die umgebauten Turbinen des E. W. K. den Zusammenhang des Nutzeffektes und des Füllungsgrades. Ersterer ist vertikal in %, letzterer horizontal in Sekundenlitern dargestellt. Für gewöhnlich kommen die Füllungsgrade $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{4}{4}$ in Betracht. Diese Zahlen stehen auch auf dem Zifferblatt der Regulierungsvorrichtungen und ein Zeiger giebt den entsprechenden Füllungsgrad bei der Regulierbewegung an. Von einer guten Turbine muss verlangt werden, dass sie nicht nur bei ganzer Füllung, sondern schon von $\frac{1}{4}$ an einen annehmbaren Nutzeffekt hat.

Für die ungefähre Berechnung der Turbinen kann man folgende Formeln benützen. Bezeichnet wie früher Q die sekundliche Wassermenge in m^3 , H das Nettogefäll, D den Durchmesser des Laufrades und n die Tourenzahl per Minute, so ist

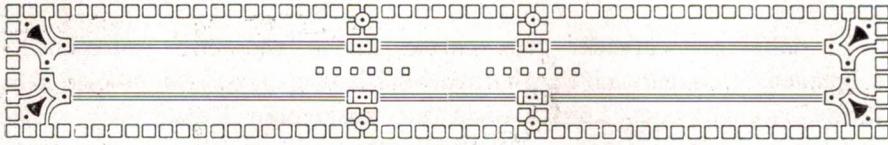
$$D = K \sqrt{\frac{Q}{V H}} \quad (12)$$

Für Francisturbinen ist $K = 1,1$ bis $1,2$ zu setzen, bei Aktions-
turbinen richtet sich der Durchmesser nach der verlangten Tourenzahl;
diese berechnet sich aus der Formel

$$n = \frac{\sqrt{H}}{D} \cdot K_1 \quad (13)$$

K_1 ist für Francisturbinen = 54, für Girardturbinen = 37,5 und für
Peltonturbinen = 42 zu setzen. — Beispiel. Für die Francisturbine
Nr. 30 ist nach Angabe der Firma $H = 1,2$ m, $Q = 2,2$ m³; $D = 1,62$ m
und $n = 36$. Man erhält aus (12) den Wert $D = 1,56$ m und
aus (13) $n = 37,9$.





Bemerkungen zu den im Kanton Obwalden vertretenen Turbinenarten.

Die Francisturbine fand erst in den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts Aufnahme in Europa und zwar als vollbeaufschlagte Ueberdruckturbine.

Man kann an derselben nach Fig. 17 einen Leitraum (1), einen Laufraum (2) und einen Saugraum (3) unterscheiden. Das Wasser tritt im Sinn der Pfeile radial von aussen ein, ändert im Laufraum allmählig seine Bewegungsrichtung um 90° und geht achsenparallel durch den Saugraum. Das Leitrad dient gleichzeitig zur Regulierung, indem entweder die Schaufeln selbst drehbar angeordnet sind (Fink'sche Drehschaufelregulierung), oder die Schaufeln stehen fest, haben jedoch bewegliche Blechfortsätze, welche gleichzeitig von einer Stelle aus bewegt werden können (Zodelregulierung). Dadurch, dass

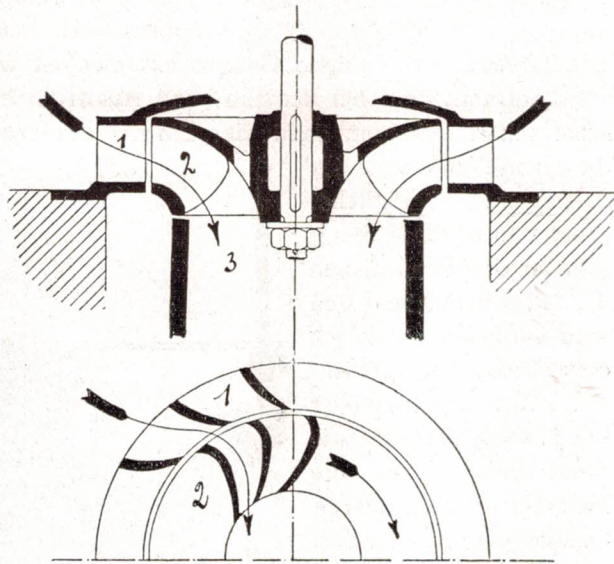


Fig. 17. Francisturbine, schematisch.

alle Schaufeln reguliert werden, wird das Abreißen der Wassersäule auch bei geringer Füllung wirksam verhindert. Fig. 18 zeigt den Leitapparat einer Francis-Spiralturbine von J. J. Rieter. Bewegen sich die dünnern Hälften der Leitschaufeln z. B. nach aussen, so kommen die dickern Hälften nach innen, wodurch der Leitraum verschmälert wird.

Weil dabei die einander zugekehrten Enden von zwei aufeinanderfolgenden Schaufeln sich im gleichen Sinn bewegen, so genügt eine sehr kleine Drehung der Leitschaufeln für ausgiebige Regulierung. Die Schaufelzahl des Leitrades ist gewöhnlich grösser, als die des Laufrades, damit Körper, die vom Leitrad gerade noch durchgelassen werden, bequem durchs Laufrad gehen. Die Turbinen Nr. 6 und 39 haben am Leitrad 12, am Laufrad 10 Schaufeln.

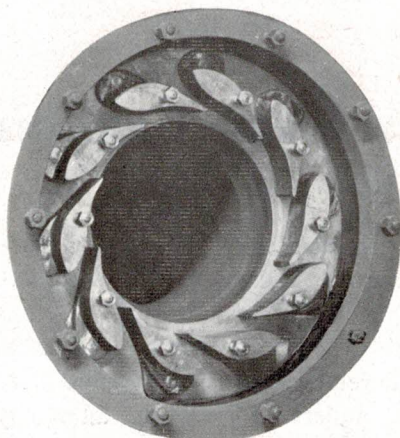


Fig. 18. Leitapparat einer Francis-Spiralturbine.

Die Laufräder werden normal aus einem Stück gegossen. Für besondere Verhältnisse, bei unreinem Betriebswasser oder sehr hohem Druck, werden die Schaufeln aus Rotguss oder Stahl hergestellt und in die gusseisernen Kränze eingegossen. Da die Tourenzahl und damit die Umlaufgeschwindigkeit beträchtlich ist, muss das Laufrad zur Erreichung

eines vollkommen ruhigen Ganges ausgewogen werden. Die Schaufeln des Laufrades sind bei der Ein- und Austrittsstelle des Wassers möglichst scharf gehalten, damit der Eintritt des Wassers stossfrei ist und die lichte Weite des Saugraumes möglichst gross bleibt. Das Saugrohr ist das Kennzeichen der Francisturbine und wird entweder aus Blech oder Beton hergestellt.

Mit stehender Welle eignet sich die Francisturbine für die kleinsten verwendbaren Gefälle bis 5 m. Mit

liegender Welle kommt sie für Gefälle von 2,5 bis 5 m zur An-

wendung. Für die genannten Gefälle wird die Turbine offen in das Unterwasser eingebaut und heisst offene oder Schachtturbine. Dahin gehören die Nummern 30, 31, 75. Fig. 19 zeigt eine offene Turbine mit stehender Welle und Fink'scher Regulierung. Das Laufrad

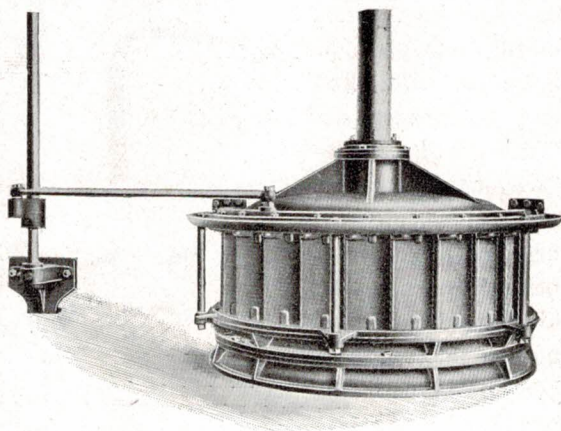


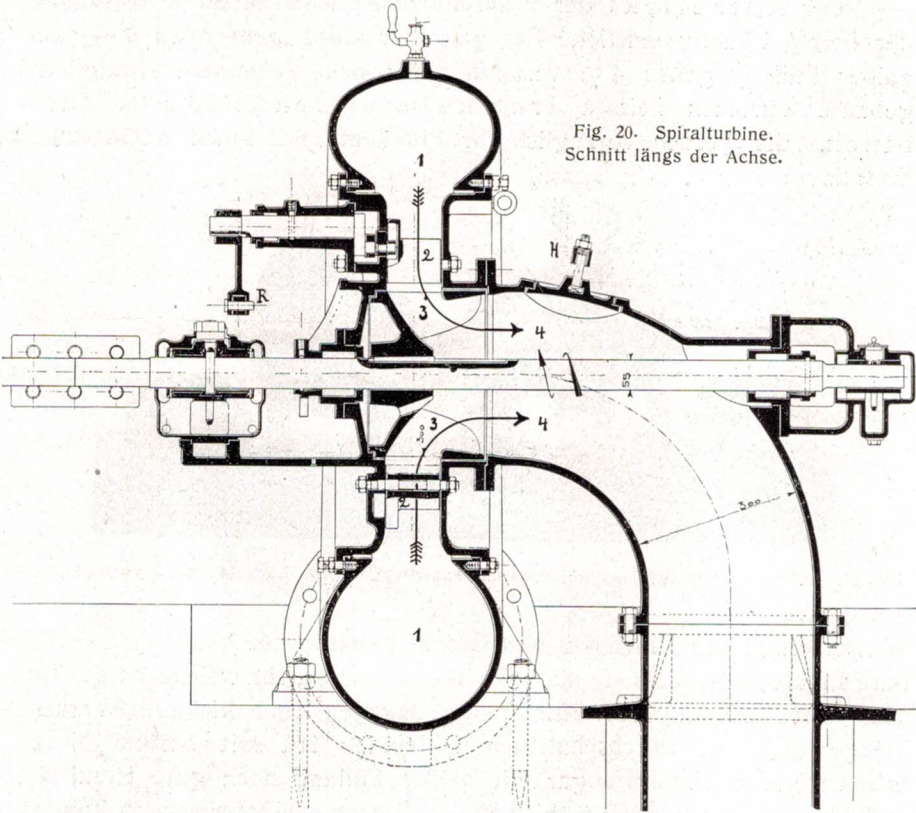
Fig. 19. Offene Francisturbine mit Drehschaufelregulierung.

ist nicht sichtbar, sein Aussehen kann aus Fig. 21 und 34 entnommen werden.

Für grösseres Gefälle wird ein Saug- und Druckrohr angewendet und die Turbine in einen Kessel eingebaut, Nr. 7 ist eine zentrale Kesselturbine.

Für die grössten mit dieser Turbine verwendbaren Gefälle wird sie als Spiralturbine (Fig. 20) ausgebildet. Das Aufschlagwasser

Fig. 20. Spiralturbine.
Schnitt längs der Achse.



durchläuft eine spiralig gewundene, immer enger werdende Zuleitung und tritt auf diesem Wege allmählich in den Laufräum ein (Nr. 6, 39; vgl. S. 54).

Soll eine Tourenzahl erreicht werden, die eine einfache Francis-turbine nicht leisten kann, so wird das Wasser geteilt und zwei auf derselben Achse gekuppelten Turbinen zugeführt. Dadurch erhält man die doppelte oder Zwillingturbine (Nr. 7 und Nr. 31). Die Welle einer Zwillingturbine ist frei von achsialem Schub. Bei der einfachen und Spiralturbine treten aber bedeutende Schubkräfte auf. Deswegen

kommen Spur- und Kammlager zur Anwendung. Fig. 21 stellt eine offene Zwillingsturbine mit liegender Welle dar; die Laufräder sind herausgenommen. Durch Losschrauben der runden Deckel kann das Laufrad ohne Demontage gereinigt werden. Auch das Eingreifen der Reguliervorrichtung am Leitrad ist deutlich sichtbar. Die Zwillingsturbine Nr. 7 hat ein Druckrohr und zwei Saugrohre, die sich unter der Turbine vereinigen.

Der Nutzeffekt der Francisturbinen wird zu 80 % berechnet, der bei $\frac{3}{4}$ Füllung eintritt. Bei ganzer Füllung geht etwa 1 %, bei halber Füllung gehen 4 % verloren. Mit dem genannten Nutzeffekt gebaute Turbinen heissen früh kulminierende oder $\frac{3}{4}$ -Turbinen. Sie werden vorzüglich für Flussläufe mit stark wechselnder

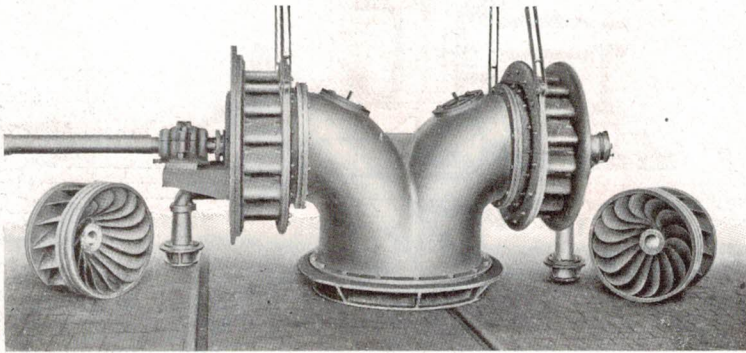


Fig. 21. Offene Francis-Zwillingsturbine, Drehschaufelregulierung. Laufräder herausgenommen.

Wassermenge und schwankendem Gefälle gebaut. Sie haben die schätzbare Eigenschaft, dass sie die volle Wassermenge, für welche sie gebaut sind, mit annehmbarem Nutzeffekt, dagegen eine kleinere Wassermenge ($\frac{3}{4}$), die durchschnittlich vorhanden ist, mit bestem Nutzeffekt verarbeiten und sogar mit halber Füllung noch gute Resultate erzielen. Als Niederdruckturbine für ganz grosse Wassermengen kommt einzig noch die Francisturbine in Betracht, die auch als mehrfache Turbine gebaut werden kann.

Die Pelton-turbine ist amerikanischer Herkunft, wurde aber in den letzten Jahren in Europa so vervollkommenet, dass viele Turbinenfabriken keine anderen Freistrahlturbinen mehr bauen. Hiebei werden sie unterstützt von Konstrukteuren, die behaupten, es liege gar kein Bedürfnis mehr vor, andere Turbinen zu bauen als Francis- und Pelton-turbinen, da diese sich für alle Gefälle und Wassermengen ergänzen

und mit ihnen alles, was überhaupt zu erreichen sei, tatsächlich erreicht werde.

Ein Kennzeichen der Pelton-turbine, die nur als Hochdruck-turbine zur Anwendung kommt, ist der kreisrunde Strahl, der durch eine stark konische Düse austritt und durch einen Konus (Nadel) reguliert wird (Fig. 35). Gegenüber dem quadratischen oder rechteckigen Strahlquerschnitt hat der runde Strahl den Vorteil, dass der äussere Durchmesser des Strahls während des Regulierungsvorganges derselbe bleibt. Der Wasserstrahl gleicht einem Rohr, das an Wandstärke gewinnt, je weiter der Regulierkonus zurückgeht, bis schliesslich bei ganzer Füllung der Strahl massiv wird. Dadurch werden die Eintrittsverhältnisse bei wechselnder Wassermenge nicht wesentlich geändert, was auf den Nutzeffekt bei verschiedener Füllung von günstigem Einfluss ist. Der mechanische Vorteil der runden Düse liegt darin, dass alle Teile gedreht und schadhafte Bestandteile leicht ausgewechselt werden können.

Ein weiteres Kennzeichen der Pelton-turbine ist die Form der Schaufel, die einem Doppellöffel vergleichbar ist und eine gerade scharfe Mittelkante aufweist (Fig. 22).

Die verwandte Löffelturbine hat keine eigentliche Mittelschneide an der Schaufel; die Schaufeleinteilung ist viel enger, und der Strahl hat rechteckige Form. Er tritt als breites Band auf die sich seitwärts erweiternden Schaufeln, breitet sich immer mehr aus und wird dabei immer dünner. Figur 23 stellt das Laufrad und den Leitapparat einer ältern Löffelturbine dar (Nr. 23). In der gezeichneten Stellung ist der Leitapparat ganz geöffnet, durch Herabschrauben des keilförmigen Gleitstückes kann die Oeffnung verkleinert werden. Von der Seite gesehen scheinen die Schaufeln des Peltonrades Fig. 35 und des Löffelrades Fig. 23 sich wenig zu unterscheiden. Die Höhlung beider Schaufelarten ist aber ebenso verschieden wie die Arbeitsweise beider Turbinen. Fig. 24 a deutet die Wasserführung bei der Peltonschaufel an. Das Wasser tritt zunächst senkrecht auf die Mittelkante und biegt nach links und rechts ab, wobei es seine Arbeit leistet und von selbst bei laufendem Rad achsial austritt. Fig. 24 b veranschaulicht die Wasserführung am Löffelrad. Der Strahl tritt als breites Band schief in die Höhlung der Schaufel und geht dann in der Richtung der Radebene der Schaufelhöhlung nach,

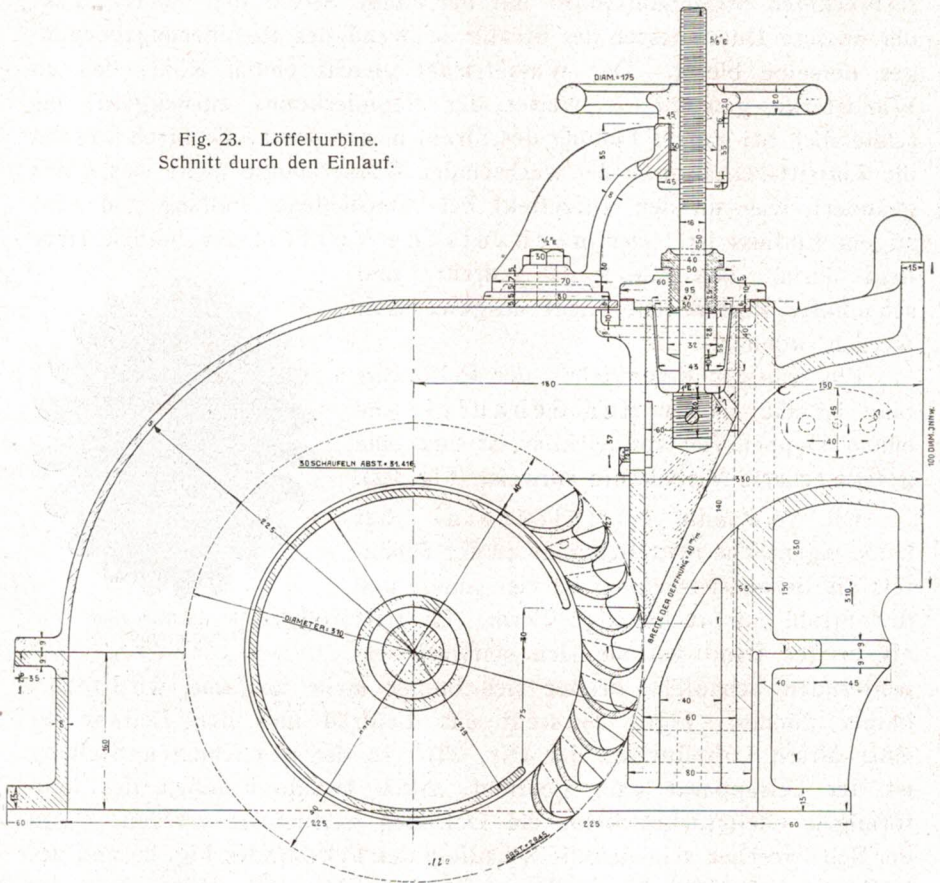


Fig. 22. Laufrad einer Pelton-turbine.

wobei er sich seitlich ausbreitet. Dabei ist dem sich ausbreitenden Strahl ein keilförmiges Mittelstück behilflich. Wegen der Form des Wasserstrahls ist die Breitenausdehnung der Schaufel des Löffelrads grösser als bei der Peltonschaufel.

Alle Turbinen des E. W. E. - L. sind Löffelturbinen modernster Konstruktion. Die Firma Th. Bell & Cie. bezeichnet sie als Patent-

Fig. 23. Löffelturbine.
Schnitt durch den Einlauf.



Freistrahlturbinen, während die eigentlichen Pelton-turbinen immer mit diesem letztern Namen bezeichnet werden.

Die Arbeitsweise der Pelton-turbine lässt sich aus Fig. 25 entnehmen. Da der Eintritt des Strahls möglichst stossfrei sein soll, so trifft er auf eine scharfe Mittelkante von kleinem Winkel. Dadurch wird der Strahl in zwei Hälften gespalten, das Wasser fliesst der Höhlung der Schaufel entlang und gibt dabei seine Energie an das Laufrad ab. Bei ruhendem Rad ist der austretende Strahl ziemlich

entgegengestezt zum eintretenden gerichtet (rechte Seite der Fig. 25). Wenn aber das Rad mit der tangentialen Geschwindigkeit u sich bewegt, setzen sich beide Geschwindigkeiten zu einer Resultierenden zusammen, die in die Richtung der Laufradachse fällt. Man hat also tangentialen Eintritt und achsialen Austritt des Wassers (linke Seite der Fig. 25).

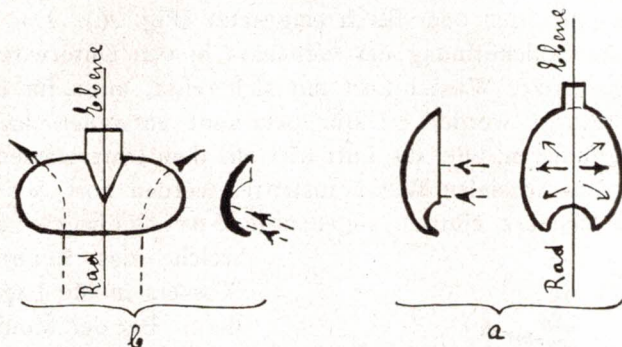


Fig. 24. Peltonturbine (a) und Löffelturbine (b) schematisch.

Damit der Strahl möglichst senkrecht zur Längskante auffällt, stehen die Schaufeln nicht radial, sondern etwas vom einfallenden Strahl zurück (Fig. 35). Da ferner beim Uebergang des Strahls von einer Schaufel zur andern zwei Schaufeln gleichzeitig getroffen werden, sind die Schaufeln am Rande möglichst dünn und geschärft und haben ausserdem in der Mitte einen Ausschnitt. So trifft der Strahl schon die folgende Schaufel, bevor die Einfallsrichtung für die vorausgehende ungünstig wäre (Fig. 22).

Das Laufrad wird bei kleiner Ausführung aus einem Stück gegossen. Grössere Laufräder werden zusammengesetzt. Die Schaufeln werden für sich hergestellt und zwar für reines Wasser und kleinen Druck aus Gusseisen, für unreines Wasser aus Rotguss und für grössten Druck aus Stahlguss. Auf Spezialmaschinen werden die Schaufelränder geschärft, die Höhlungen geglättet und poliert, da die gute Beschaffenheit der Schaufeln für den Wirkungsgrad der Peltonturbine von Bedeutung ist. Die Schaufeln haben je nach Grösse einen oder zwei Stiele mit Nuten und werden zwischen zwei Platten, welche die Naben tragen, in passende Ausdrehungen eingesetzt und durch Ver-

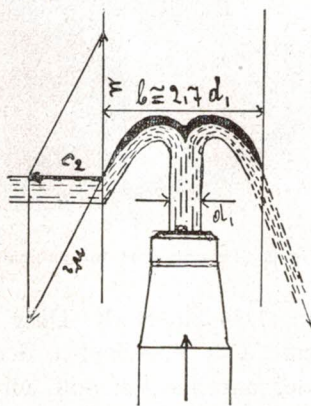


Fig. 25. Peltonturbine, schematisch.

schraubung der Platten festgehalten (Fig. 22). Durch diese Konstruktion ist es möglich gemacht, beschädigte Schaufeln auszuwechseln, wobei wegen der Nuten alle Schrauben gelöst werden müssen.

Da die Peltonturbinen als Hochdruckturbinen grosse Umlaufgeschwindigkeit des Rades aufweisen, muss dieses aufs sorgfältigste statisch und dynamisch ausgewogen werden. Das Laufrad wird in ein Gehäuse von Gusseisen oder Blech eingesetzt (Fig. 26). Das Abwasser fällt durch die Bodenöffnung des Gehäuses in den Unterwassergraben. Da das ausgespritzte Wasser Luft mit sich reisst, muss für reichlichen Luftzutritt gesorgt werden. Dafür bekommt entweder das Gehäuse Ventilationsöffnungen, oder die Luft tritt aus dem Unterwasserkanal ein.

Wegen des achsialen Wasseraustrittes werden dort, wo die Laufradachse ins Gehäuse eintritt, sogenannte Spritzringe angebracht,

welche das Eindringen des Wassers in die Lager verhindern. Bei der Montage muss das Laufrad so eingestellt werden, dass die Spitze der Regulierungsnadel genau nach der Mittelkante der Schaufeln weist, der Wasserstrahl also durch die Kante halbiert wird. Bei dieser Einstellung und genau symmetrischem Bau der Schaufeln treten keine achsialen Schubkräfte auf.

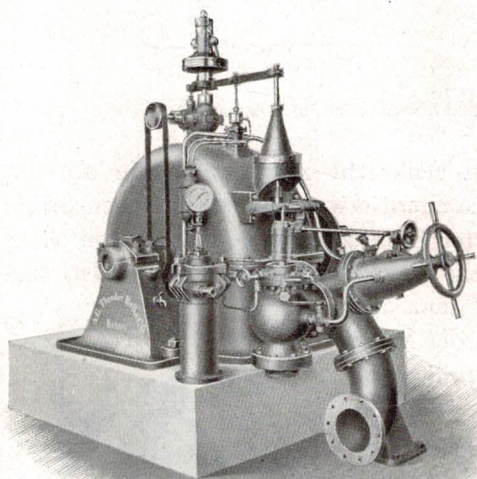


Fig. 26. Peltonturbine mit automatischer Regulierung.

Der Leitapparat ist in Konstruktion und Ausführung dasjenige Stück der Peltonturbine, von welchem der Nutzeffekt wesentlich bedingt

ist. Das Innere der Düse muss aufs sorgfältigste geglättet und poliert sein. Das Verschieben der Regulirnadel geschieht entweder von Hand oder automatisch und wird dann vom Zentrifugalregulator eingeleitet. Die Konstruktion der Düse und ihre Stellung zum Laufrad muss so gewählt sein, dass der Strahl geschlossen die Schaufeln trifft.

Die Bedeutung der Peltonturbine liegt, abgesehen von ihrer einfachen Konstruktion, in dem Umstande, dass sie bei gutem Bau an Nutzeffekt jeder andern Turbinenkonstruktion zum mindesten gleichkommt und für die grössten Gefälle angewendet werden kann. Die Welle ist in der Regel horizontal angeordnet, und gerade dadurch ist diese Turbine

in Verbindung mit der hohen Tourenzahl zum direkten Antrieb von Dynamomaschinen bestens geeignet.

Die Firma Bell & Cie. baut Pelton-turbinen, die bis 7 Düsen aufweisen. Eine solche Turbine leistet bei 105 m Gefäll 3300 PS, was einem Wasserverbrauch von über 3000 Liter per Sekunde entspricht. Es können ferner auf derselben Welle entweder in gemeinschaftlichem oder in getrenntem Gehäuse zwei oder mehr Räder angebracht und jedes von mehreren Düsen beaufschlagt werden. Man sieht also, dass die Pelton-turbine ausserordentliche Anpassungsmöglichkeiten aufweist.

Für eine angenäherte Berechnung der Pelton-turbine können folgende Formeln neben (12) benützt werden. Als Austrittsgeschwindigkeit nehmen wir $v_1 = 0,95 \sqrt{2 g H}$. Das Wasser leistet die grösste Arbeit, wenn der vom Strahl getroffene Körper (das Laufrad) mit der halben Wassergeschwindigkeit sich bewegt. Wir nehmen für die Umlaufgeschwindigkeit u des Rades etwas weniger und setzen $u = 0,45 v_1$. Nun hat man für die Tourenzahl

$$n = \frac{60 \cdot u}{\pi D_1} \quad (14)$$

Ist die Tourenzahl gegeben, so ergibt sich der Raddurchmesser

$$D_1 = \frac{60 \cdot u}{n \pi} \quad (15)$$

Darin ist D_1 nicht der äussere Durchmesser des Laufrades, sondern der Durchmesser jenes Kreises, der durch die Mitte des einfallenden Wasserstrahls geht, der sogenannte Strahlkreisdurchmesser (Fig. 35). Für eine gute Düse ist der Kontraktionskoeffizient 0,96 bis 0,99. Wird der lichte Querschnitt der Düse mit f bezeichnet, so ist die sekundlich ausströmende Wassermenge

$$Q = 0,95 \cdot 0,96 \cdot f \cdot \sqrt{2 g H} \quad (16)$$

Daraus wird

$$f = \frac{1,09 Q}{\sqrt{2 g H}}$$

Für eine runde Düse mit Durchmesser d_1 ist

$$f = \frac{d_1^2 \pi}{4}$$

woraus

$$d_1 = 2 \sqrt{\frac{f}{\pi}} = 1,1284 \sqrt{f}$$

oder endlich

$$d_1 = 1,1284 \sqrt{\frac{1,09 Q}{\sqrt{2 g H}}} \quad (17)$$

Wendet man diese Formeln auf die Peltonturbinen des E. W. K. an, so erhält man $v_1 = 95 \text{ m}$; $u = 42,75 \text{ m}$; $D_1 = 816 \text{ mm}$, $d_1 = 33,48 \text{ mm}$; $\frac{d_1}{D_1} = \frac{1}{24,4}$. Nach Konstruktionszeichnung sind die Werte folgende: $D_1 = 800 \text{ mm}$; $d_1 = 35 \text{ mm}$ und $n = 1000$.

Das Verhältnis aus dem Düsendurchmesser d_1 und dem Strahlkreisdurchmesser D_1 darf für eine brauchbare Konstruktion nicht über $\frac{1}{9,4}$ und nicht unter $\frac{1}{165}$ sein. Turbinen der erstern Art nennt man relativ starkstrahlig, die andern relativ schwachstrahlig.

Als untere Grenze des Gefälls wird 15 m angegeben. Die Pelton-turbine Nr. 29 soll sogar bei 10 m Nettogefäll arbeiten. Das höchste Gefäll unter den Anlagen des Kantons ist 500 m bei den Pelton-turbinen des E. W. K. Im Projekt Römer-Fischer (Siehe Anhang) ist ein Gefäll von 1225 m vorgesehen. Das höchste Gefäll der Schweiz wird gegenwärtig zur Ausnützung des Lac de Fully im Wallis mit 1665 m angewendet. Die Druckleitungsrohre von 50 und 60 cm Durchmesser werden aus einem Stahlblock nahtlos gewalzt.

Die Girardturbine galt vor wenigen Jahren noch als die verbreitetste Freistrahlturbine; in letzter Zeit hat ihr jedoch die Pelton-turbine das Feld streitig gemacht. Die Girardturbine kann an sich voll oder teilweise beaufschlagt sein; in Obwalden finden sich aber nur partial beaufschlagte.

Der Leitapparat besteht bei Hochdruckturbinen aus einer einzigen Düse von rechteckigem Querschnitt. Durch eine bewegliche keilförmige Zunge kann bei gleichbleibender Strahlbreite die Dicke desselben verändert werden. Für kleinern Druck und veränderliche Wassermengen besteht der Leitapparat aus einer grössern Anzahl Leitschaufeln oder Zellen, welche durch einen Schieber mittelst Handrad nach der Belastung der Turbine oder dem vorhandenen Wasser geöffnet oder zugedeckt werden können. Fig. 27 zeigt die Regulierung einer Girardturbine mit innerem Aufschlag.

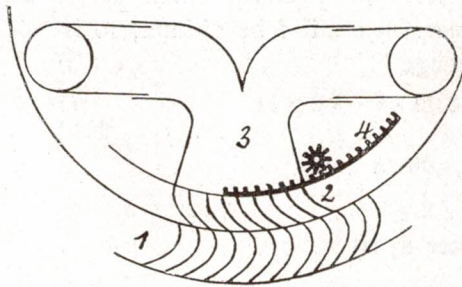


Fig. 27. Regulierung der Girardturbine mit innerem Aufschlag.

Fig. 27 zeigt die Regulierung einer Girardturbine mit innerem Aufschlag. 1 ist das Laufrad, 2 der Leitapparat, 3 das Einlaufrohr. In der gezeichneten Stellung sind links 3 Zellen frei, die andern geschlossen. Wird durch das Zahnrad der Schieber (4) nach rechts bewegt, so werden immer mehr Zellen be-

aufschlägt. Bei äusserem (seitlichem) Aufschlag sind die Verhältnisse wesentlich dieselben.

Innenbeaufschlagte Turbinen sind die Nummern 5, 26, 34 und 68. Da bei innerer Beaufschlagung der Leitapparat zwischen den Radkranz und die Achse eingebaut wird, so muss der Durchmesser des Laufrades gross genommen werden, sonst ist der Nutzeffekt schlecht. Fig. 28 zeigt die Gesamtansicht einer Girardturbine mit innerem Aufschlag (Radialturbine).

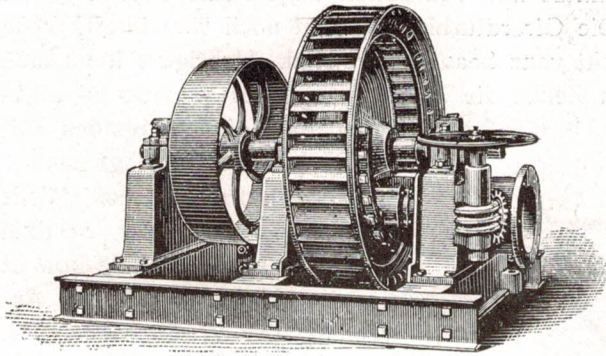


Fig. 28. Innen beaufschlagte Girardturbine.

Das Laufrad (Fig. 29 u. 30) wird gegossen und hat Schaufeln mit scharfer Eintrittskante u. Verbreiterung nach der Austrittsseite, damit das Wasser trotz seiner geringen Geschwindigkeit die Schaufel noch rechtzeitig verlassen kann. Der Arbeitsprozess ist in Fig. 31

dargestellt. Das Wasser verlässt mit der absoluten Geschwindigkeit c_1 den Leitapparat unter einem Winkel α_1 . Mit der Umlaufgeschwindig-

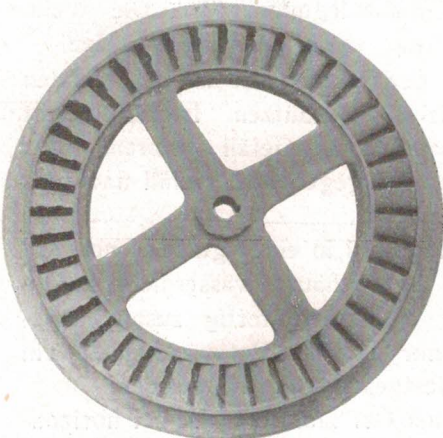


Fig. 29. Laufrad einer Girard-Niederdruckturbine. Seite des Wassereintrittes.

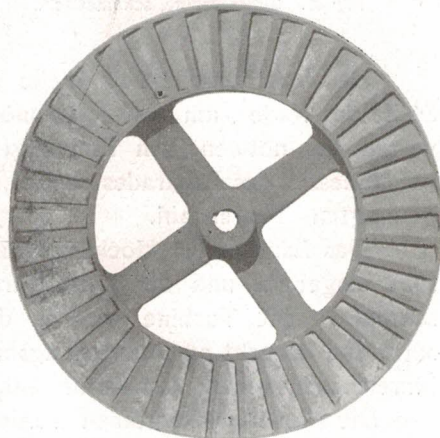


Fig. 30. Laufrad einer Girard-Niederdruckturbine. Seite des Wasseraustrittes.

keit u des Rades setzt sie sich zur relativen Geschwindigkeit w_1 zusammen. Bei der Bewegung durch die Zellen des Laufrades wird das

Wasser immer mehr von seiner Richtung abgelenkt und tritt mit der absoluten Geschwindigkeit w_2 aus. Diese setzt sich nochmals mit der Radgeschwindigkeit u zur Geschwindigkeit c_2 zusammen. Bei richtiger Schaufelkonstruktion muss c_2 mit u einen Winkel (α_2) von ungefähr 90° einschliessen; dann fällt das Wasser auf dem kürzesten Weg ins Unterwasser.

Nach dem Charakter der Freistrahlturbine darf der Wasserstrahl den Raum zwischen zwei Schaufeln nicht vollständig füllen. Es können auch noch seitliche Schlitzte zur Ventilation angebracht werden (siehe Figuren 28 und 32). Die Girardturbine arbeitet noch vorteilhaft, wenn die einzelnen Zellen nicht ganz beaufschlagt sind. Uebrigens kann man durch Abschliessen von Zellen die Zuflussmenge des Wassers so regulieren, dass die arbeitenden Zellen normal beaufschlagt sind.

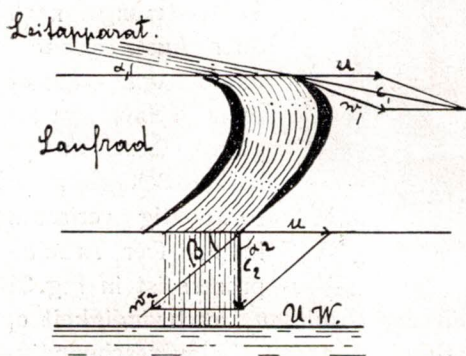


Fig. 31. Girardturbine, schematisch.

Die Anordnung der Welle kann horizontal oder vertikal sein. Für kleine Gefälle kommt die vertikale Welle zur Anwendung (Nr. 27, 35, 60, 64, 71). Fig. 32 zeigt eine Girardturbine mit vertikaler Welle. Der Leitapparat erstreckt sich wegen der grössern Wassermenge fast über das halbe Laufrad (grosser Beaufschlagungsgrad). Die Welle hat einen Oberwasserzapfen.

Bei horizontaler Welle ist der Leitapparat an der tiefsten Stelle des Rades, um das Gefäll möglichst auszunützen. Immerhin geht wegen des notwendigen Freihängens etwas an Gefäll verloren. Der Durchmesser des Laufrades richtet sich bei gegebenem Gefäll nach der verlangten Tourenzahl.

Das Laufrad der Hochdruckturbine wird in einen gusseisernen Kasten eingebaut und der Leitapparat am Gehäuse wasserdicht aufgeschraubt. Die Turbine wird in der Werkstätte fertig zusammengesetzt und braucht am Aufstellungsort nur auf einen Betonsockel, der ein hinreichend weites Abfallrohr hat, festgeschraubt zu werden.

Die Niederdruckturbinen werden am Ort montiert und bei horizontaler Welle wird die untere Hälfte in einen kastenartigen Betonbau, der die Lager trägt, eingesetzt. Der obere Teil des Laufrades wird durch einen Deckel aus Blech oder Holz abgeschlossen.

Von den im Verzeichnis (Seite 68—73) angeführten Girardturbinen

sind nicht mehr alle in einwandfreiem Zustande. Obwohl sie aus Eisen gefertigt sind und keinem Fäulnisprozess unterliegen, sollte man die Turbinen nicht weniger sorgfältig als andere Maschinen behandeln, d. h. von Zeit zu Zeit revidieren und allfällige kleine Fehler ausbessern lassen. Bei sandführendem Wasser und durch harte Fremdkörper werden die scharfen gusseisernen Schaufeln an der Eintrittsstelle des Wassers beschädigt, wie man aus Fig. 29 deutlich ersehen kann. Es ist nicht schwer, einzusehen, dass bei derartig beschädigten Schaufeln die Arbeitsweise des Wassers ganz geändert wird und die Leistung erheblich sinkt. Ein Teil des Aufschlagwassers spritzt nämlich neben der Schaufel vorbei und geht ganz verloren, ein anderer Teil trifft die ausgebrochene breite Stelle, wodurch die Bedingung des stossfreien Eintrittes gar nicht erfüllt wird.

Es kann auch vorkommen, dass zwar das Laufrad unverletzt ist, aber die Zunge des Leitapparates von unreinem Wasser oder durch einen noch nicht ganz abgeklärten Vorgang zerfressen wird. Natürlich nimmt auch dadurch die Leistung ab; denn der Leitapparat aller Turbinen ist ein so wichtiger Teil und muss so genau konstruiert sein, dass Aenderungen an demselben sich sofort als Verringerung der Leistung bemerkbar machen müssen. Im erwähnten Fall wäre durch eine Zunge aus Rotguss oder gehärtetem Stahl Abhilfe zu schaffen. Da die Auswechslung der Zunge oder eines Laufrades nicht geringe Kosten verursacht, so muss der Wasseranlage, den Sandkästen und den Rechen und ihrer Reinhaltung grosse Sorgfalt gewidmet werden.

Die in Obwalden mit Girardturbinen ausgenützten Gefälle liegen zwischen 1,1 m (Nr. 71) und 170 bis 180 m netto an der Druckleitung der Wasserversorgung Kerns.

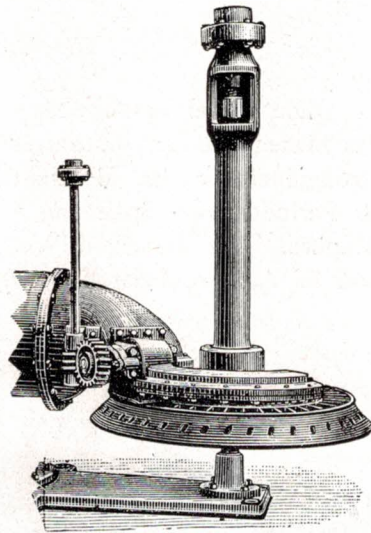
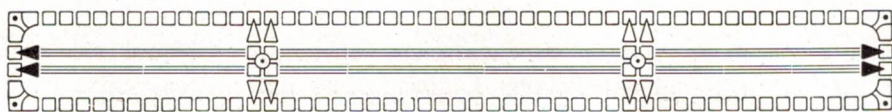


Fig. 32. Girardturbine mit vertikaler Welle.





Bemerkungen zu den grösseren Anlagen zur Erzeugung elektrischer Energie.

Die Anlage in Unteraa.

Die früher beschriebene Francis-Spiralturbine ist auf dem Boden des Maschinensaales aufgestellt und direkt gekuppelt mit einem Drehstromgenerator der Maschinenfabrik Oerlikon. Der Strom hat bei 50 Perioden eine Spannung von 3050 Volt, die Normalstärke ist 18,2 Ampère. Auf derselben Welle ist die Erregermaschine von 61 Volt und 32 Ampère Leistung. Obwohl die automatische Regulierung der

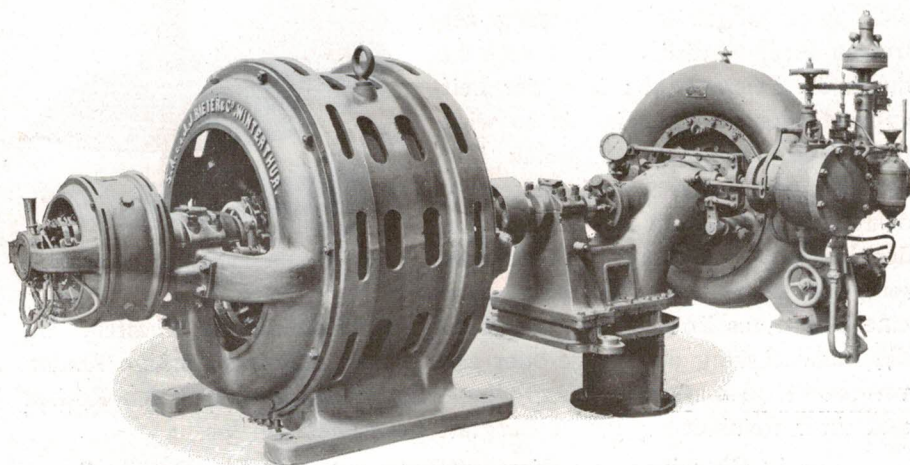


Fig. 33. Spiralturbine, Drehstromgenerator und Erregermaschine, direkt gekuppelt.

Turbine ausser Funktion ist, arbeitet der Maschinensatz den ganzen Tag ohne Wartung und Aufsicht. Der Zentrifugalregulator wirkt auf einen Wasserwiderstand eigener Konstruktion, der vollkommen genügend und höchst zuverlässig reguliert.

Figur 33 zeigt einen solchen Maschinensatz. Von links nach rechts folgen sich: Die Erregergleichstromdynamo, der Drehstromgene-

rator, die Kuppelung, die Einführung der Welle in das Saugrohr mit Stopfbüchsendichtung und schliesslich die Spiral-Francisturbine mit automatischer Regulierung. Durch perspektivische Wirkung erscheint der Generator etwas zu gross.

In der Maschinenfabrik beim Bahnhof Giswil ist ein Drehstromtransformator von 80 Kilo-Volt-Ampère (K V A) aufgestellt. Er hat Dreieckschaltung und übersetzt von 3000 Volt (50 Volt Leitungsverlust) auf 190 Volt für den Antrieb von drei Motoren zu 15, 20 und 35 P.S. Ausserdem wird der Strom zum Betrieb von Bogen- und Glühlampen und Heizapparaten benützt.

Die Anlage war samt Fabrik in Unteraa, wurde aber (1905) durch Feuersbrunst zerstört. Den neuen Verkehrsverhältnissen durch die Brünigbahn wurde nun dadurch Rechnung getragen, dass Maschinenfabrik und Baugeschäft in die Nähe des Bahnhofes verlegt wurden. Das Wasserrecht vom Abfluss des Lungerersees konnte durch elektrische Kraftübertragung dennoch voll ausgenützt werden.

Die Anlage im Stäubiloch am Melchsee.

Eine recht interessante, technisch vollkommen durchgeführte Anlage benützt den Ausfluss des Melchsees. Der Seespiegel ist normal auf Cote 1883. Der Abfluss verschwindet im Stäubiloch. Ein hinter Stöckalp aus dem Boden tretendes Wasser ist vermutlich wieder der Abfluss des Sees.

Vom Melchsee wird nun das Wasser durch ein Nadelwehr*) in den Einlaufkanal gedrängt. Der ca. 8 m lange Kanal ist von Holz, 60 cm breit und 90 cm hoch (der normale Wasserquerschnitt 60×60 cm), hat am Anfang Feinrechen und Schütze und mündet sodann ohne eigentliches Gefäll in einen Wasserkasten von $1,5 \times 1,5 \times 1,8$ m. 13,5 m unter dem Niveau des Sees ist für die Anlage die Cote 0 angenommen worden. Vom Boden des Wasserkastens geht die kurze Druckleitung aus Röhren von 40 cm Durchmesser nach der Francis-Spiralturbine.

Fig. 34 zeigt die fertige Turbine mit herausgenommenem Lauf- rad. Rechts ist der Anschluss des Druckrohrs und die durch Zahnrad und Schnecke zu bewegend Drosselklappe. Die Regulierschraube der Leitschaufeln geht in Wirklichkeit nicht nach oben, sondern horizontal nach links. Fig. 20 zeigt dieselbe Turbine in einem Schnitt längs der

*) Beim Nadelwehr wird die Stauung durch eng nebeneinander aufgestellte, dünne Holzbalken oder Eisenröhren bewirkt.

Achse. 1,1 ist das Spiralrohr. Von demselben gelangt das Wasser im Sinn der gekrümmten Pfeile in den Leitraum 2,2, dann in den Laufraum 3,3 und schliesslich in das Saugrohr 4,4. Links oben sieht man die Reguliervorrichtung R, die in die Drehschaufeln (vergl. Fig. 18) eingreift. Die Durchführung der Welle durch das Saugrohr und der abschraubbare Deckel H zum Handloch sind deutlich zu sehen.

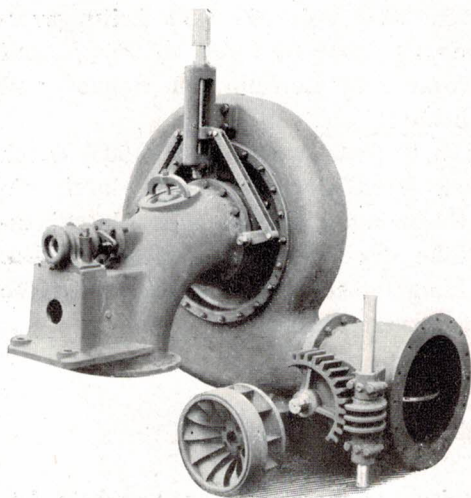


Fig. 34. Spiralturbine mit herausgenommenem Laufrad.

Da diese Turbine ziemlich dieselbe Wassermenge verarbeitet wie diejenige in Unteraa, hat sie dasselbe Laufrad von 30 cm Durchmesser. Die Maschinenwelle befindet sich auf Cote 5,6 und das Ende des eisernen Saugrohrs auf Cote -1,5. Der tiefste Unterwasserstand ist auf Cote -1,15. Die ganze Maschinenanlage ist ins Stäubiloch eingebaut.

Die Turbine hat Handregulierung und ist direkt mit einer Gleichstromdynamo (200 Volt) gekuppelt, welche das Hotel Reinhard auf Frutt mit elektrischer Energie für Licht- und Heizzwecke versieht. Seltsamerweise existiert am langen Lauf der Melchaa keine weitere Anlage mehr, da die Säge im Melchtal durch das Hochwasser von 1910 ausser Betrieb gesetzt wurde. Sie ist auf Abbruch zum Verkauf ausgeschrieben und deswegen nicht ins Verzeichnis aufgenommen worden.

Das Gemeinde-Elektrizitätswerk Kerns in Wisserlen.

Die Schwarzeggquelle entspringt auf Cote 1110 am westlichen Abhang des Stanserhorns unterhalb der Alp Schwand. Von der Quellauffassung kommt das Wasser durch eine 20 m lange Doppelleitung aus Steingutröhren von 25 cm Durchmesser nach dem sogen. Schlamm-sammler. Dieser dient aber nicht dem seinem Namen entsprechenden Zwecke, da das Quellwasser keinen Schlamm führt, sondern zur Regulierung des Wassers bei hohem Wasserstand. Die Wassermenge bewegt sich zwischen 29 und 37,5 Liter im Minimum (April) und 300 Liter im Maximum.

Vom Schlamm-sammler führt eine ca. 500 m lange Leitung aus Thonröhren von 35 cm Durchmesser nach dem Reservoir. Bei 40 m Länge, 25 m Breite und 3 m Tiefe hat das Reservoir einen Inhalt von 3000 m³, es würde also ohne Zufluss für einen 10stündigen Betrieb der 400 PS Turbine genügen. Die Sohle des Reservoirs ist auf Cote 1098, der normale Wasserspiegel auf Cote 1101. An der einen Schmalseite sind zwei Kammern vorgebaut, über welchen sich das Schieberhäuschen

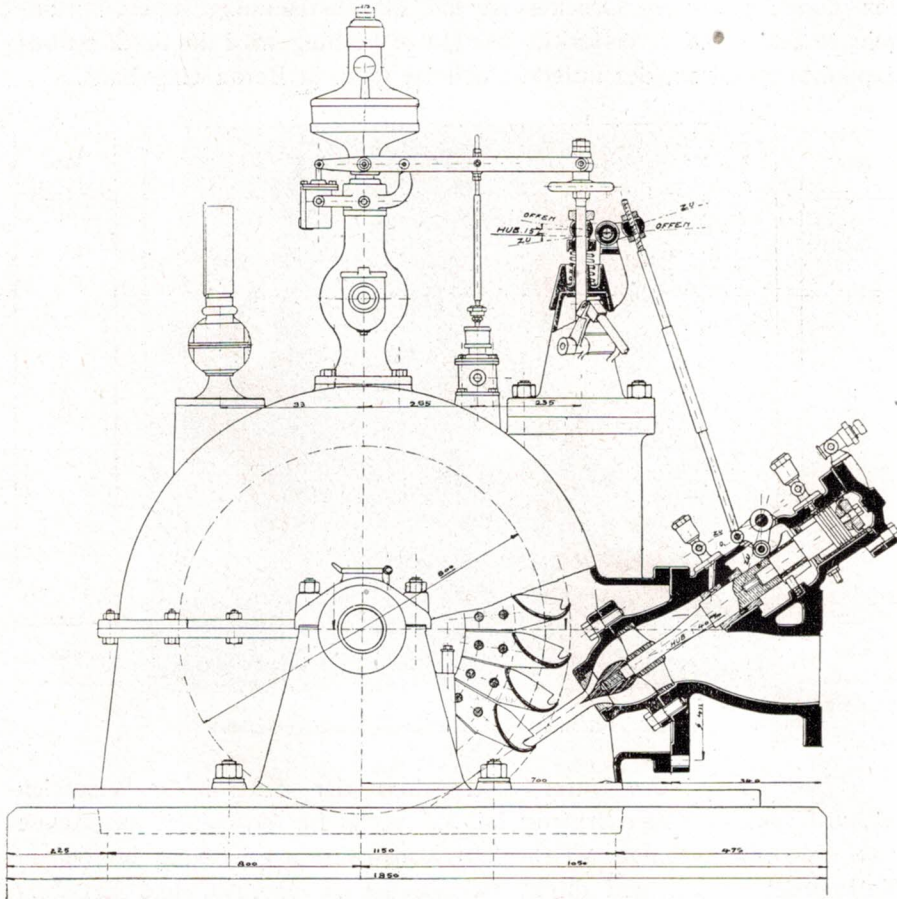


Fig. 35. Pelton-turbine des Elektrizitätswerkes Kerns. Schnitt durch den Einlauf.

befindet. Neben einem Leerlauf ist im Schieberhäuschen der Druckrohrabschluss, der automatisch wirkt, aber auch vom Maschinenhaus aus betätigt werden kann. Ein Schwimmer schaltet durch sein Steigen und Fallen bei je 5 cm Niveauänderung einen Strom ein, der im Maschinenhaus den augenblicklichen Wasserstand auf einem Zifferblatt registriert. Mit diesem automatischen Wasserstandzeiger können in

bequemer Weise bei abgestellter Turbine Wassermessungen an der Quelle gemacht werden.

Die Druckleitung ist 1899,97 m lang und in Rücksicht auf die grossen Druckunterschiede und die dadurch bedingte Wandstärke der Rohre in 7 Zonen eingeteilt. Die lichte Rohrweite ist 30 cm, die Wandstärke nimmt von oben nach unten von 10 bis 30 mm zu. Das Material ist Stahlguss, die Verbindung durch Muffen hergestellt. Bei den Zonen grösseren Druckes ist die Bleieinstimmung durch herumgelegte Eisenbänder verstärkt. Die ganze Leitung wird durch 22 Betonfixpunkte gehalten, der unterste Teil ist ganz in Beton eingebaut.

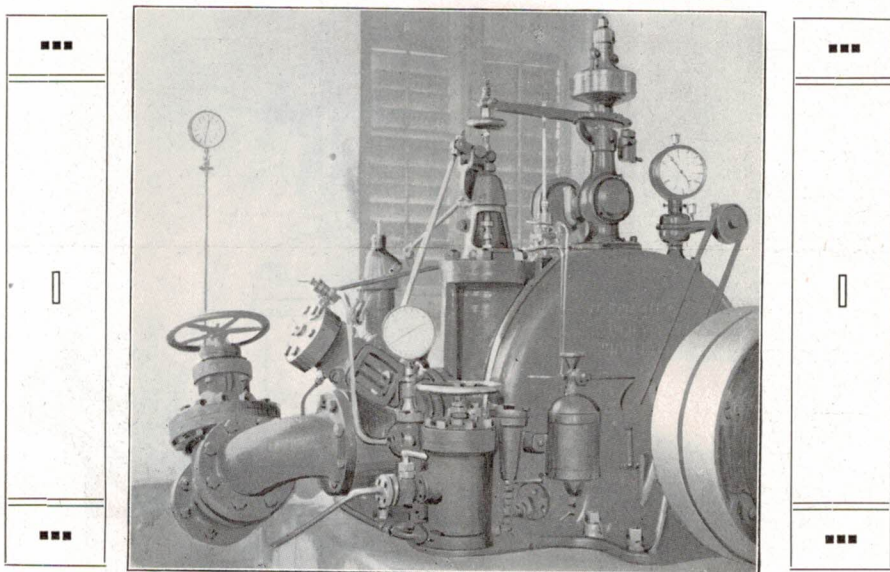


Fig. 36. Pelton turbine des Elektrizitätswerkes Kerns.

Der Spiegel des Unterwassergrabens der Zentrale in Wisserlen ist auf Cote 574, daher Bruttogefäll 527 m. *) Im Maschinenhaus stehen zwei Generatorturbinen, welche laut Konstruktionszeichnung für 500 m Nettogefäll gebaut und direkt mit Drehstromgenerator und Erregermaschine gekuppelt sind. Die beiden Maschinensätze wurden von J. J. Rieter & Cie. in Winterthur gebaut. Die Turbinen hatten rechteckige Einströmungsdüse mit Zungenregulierung. Sie wurden im Sommer 1909 von Th. Bell & Cie. in Kriens umgebaut, die Laufräder wurden ausgewechselt und die runde Düsenform gewählt (Fig. 35).

*) Mit diesem, dem Längenprofil entnommenen Bruttogefäll von 527 m stehen die Angaben der Manometer im Maschinenhaus Wisserlen nicht im Einklang, da diese letztern stets 55 Atmosphären zeigen.

Da die Drehstromgeneratoren Strom von 5000 Volt liefern, ein so hochgespannter Strom aber nicht funkenfrei von Schleifringen abgenommen werden kann, so ist der Anker feststehend angeordnet und in seinem Innern rotieren die Feldmagnete, denen der Erregerstrom durch zwei Schleifringe zugeführt wird. Die Tourenzahl ist 1000, die Leistung eines jeden Generators beträgt 330 K V A bei 5000 Volt und maximal 66 Ampère. Die Stromverhältnisse der Erregermaschinen sind 75 Volt und 90 Ampère. Beide Generatoren können für sich arbeiten, aber auch parallel geschaltet werden. In der Zentrale wäre Raum für vier solche Maschinensätze. Der Platz beim Eingang ist jetzt für

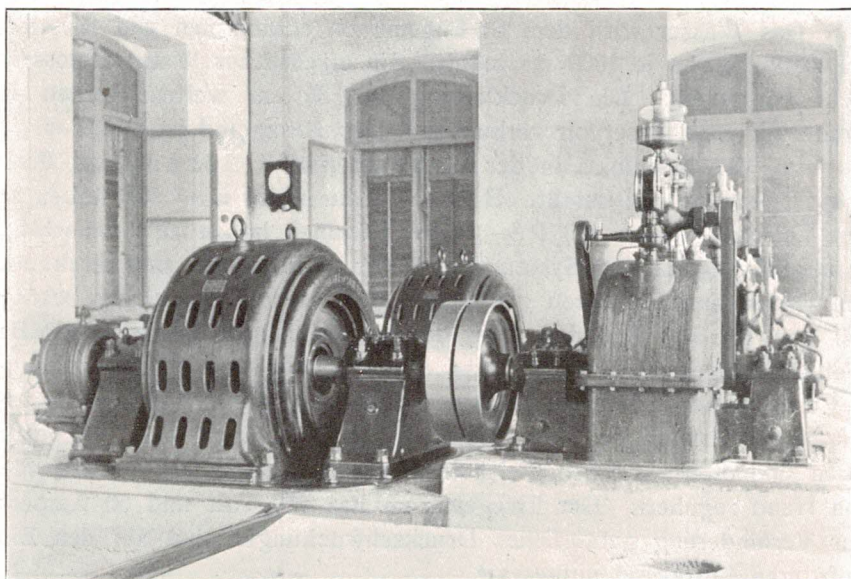


Fig. 37. Inneres der Zentrale in Wisserlen.

einen Reguliertransformator reserviert, der den von Stansstad kommenden Strom den Verhältnissen im Leitungsnetz von Obwalden genau anpasst.

Im nordöstlichen Anbau des Maschinenhauses befinden sich der Schaltraum mit den Blitzschutzsicherungen und den Verteilungsvorrichtungen für die abgehenden Leitungen und der Ausführungsturm.

Vier Hauptleitungen verlassen den Ausführungsturm: Kerns-Lungern, Kerns-Alpnachstad, Kerns-Melchtal und Kerns-Stansstad. Es sind 27 Ortschaften mit zusammen 29 Transformatoren angeschlossen.

Im Zusammenhang mit unserer Aufstellung der Wasserkraftanlagen sei hervorgehoben, dass auf Januar 1913 139 Motoren mit zu-

sammen 622,75 PS angeschlossen waren. Davon sind 4 Motoren mit 93 PS Reservemotoren, die in Wasserkraftanlagen für gewöhnlich nicht in Betracht kommen. Die Transformatoren haben für den Verbrauchsstrom Sternschaltung mit Nulleiter. Die Lampenspannung ist 200 Volt, die Motoren haben die verkettete Spannung $200 \cdot \sqrt{3} = 350$ Volt. Die Anlage ist in Vollbetrieb seit 21. Januar 1906 und versieht die 6 alten Gemeinden des Kantons Obwalden und zum Teil die Gipsunion in Rotzloch mit elektrischer Energie. *)

Die Kraftanlage für die elektrische Bahn Stansstad-Engelberg in Obermatt.

Das Wasser wird dem St. Eugenibach entnommen und fliesst in 2 Reservoirs von je 1000 m³ Inhalt. Ein eigentliches Wasserschloss ist nicht vorhanden. Die Druckleitung aus 30 cm weiten Röhren ist direkt mit dem Reservoir verbunden. Das Nutzgefäll ist 414,8 m.

Im Maschinenhaus in der Obermatt sind 3 Generator-Pelton-turbinen aufgestellt. Bei einer Tourenzahl $n = 670$ haben sie eine Leistung von je 180 PS. Diese Turbinen haben automatisch-hydraulische Regulierung, System Bell & Cie., Kriens, und sind direkt mit den Drehstromgeneratoren gekuppelt. Die normale Spannung beträgt 750 Volt bei 32,5 Perioden. Um den Anforderungen des erhöhten Betriebes genügen zu können, muss aber mit 840 Volt Primärspannung und entsprechender Hochspannung gearbeitet werden. Die Erregerturbinen leisten bei 1200 Touren je 12 PS. Auch diese Pelton-turbinen sind direkt mit der Gleichstrommaschine gekuppelt, werden aber von Hand reguliert. Der Erregerstrom hat 110 Volt und 60 Ampère. Zur Verhinderung gefährlicher Druckschwankungen sind auf den Einlaufrohren Luftkessel aufgesetzt.

Der Primärstrom von 750 Volt wird im Maschinenhaus auf 5000 Volt transformiert und geht in die Fernleitung. In den einzelnen Transformatoren längs der Bahnlinie wird er auf die Verbrauchsspannung von 750 Volt herabtransformiert. Jeder Motorwagen hat 2 Motoren zu 35 PS. Die Vorspannlokomotiven für die steile Strecke Obermatt-Engelberg verfügen über je 2 Motoren zu 75 PS.

Das Elektrizitätswerk Engelberg-Luzern in der Obermatt.

Der Erlenbach wird in einen Sammelweiher von 22000 m² Fläche und 70000 m³ Fassungsvermögen geleitet. Die Sohle ist auf Cote 990,8;

*) Die Geschichte und die eingehende Beschreibung des Elektrizitätswerkes Kerns würde für eine besondere Bearbeitung interessanten und reichen Stoff bieten.

der höchste Wasserstand auf Cote 994,3. Der Weiher hat einen Ueberlauf und einen Leerlaufstollen nach der Aa. Zwischen Sammelweiher und Wasserschloss befindet sich der 2558,6 m lange Druckstollen mit einem durchschnittlichen Gefäll von $1,20/_{00}$ und einem Querschnitt von $4,15 \text{ m}^2$.

Im Wasserschloss, dessen mittlere Wasserspiegelhöhe auf Cote 991,2 liegt, beginnen die 4 Druckleitungsstränge, von denen zurzeit 2 ausgebaut sind. Jede Rohrleitung ist abschliessbar. In der Richtung Krafthaus-Wasserschloss besteht die Druckleitung aus 4 Abteilungen: erste Abteilung 54,447 m mit 28,658 % Steigung; zweite Abteilung 124,537 m mit 61,968 %; dritte Abteilung 159,907 m mit 82,005 % und vierte Abteilung 239,702 m mit 60,390 %. Oberhalb der Kantonsstrasse ist der Rohrdurchmesser 1 m entsprechend einer maximalen Wassergeschwindigkeit von 1,75 m; unter der Kantonsstrasse ist der Rohrdurchmesser 0,9 m entsprechend 2,15 m Geschwindigkeit. Die Rohre sind aus Eisenblech genietet und mit Flanschen verschraubt. Qualität und Stärke des Materials ist nach der Druckbeanspruchung verschieden.

An der vom Berg abgewandten Seite des Krafthauses ist die Verteilungsleitung. Die Einlaufhöhe der grossen Turbinen befindet sich auf Cote 681,2. Das Bruttogefäll ist 310 m, der mittlere Verlust 10 m, also 300 m Nettogefäll. Ein Gefäll von 25 m zwischen Ablaufkanal und Aa ist zurzeit noch unbenützt, aber durch Verlegen der Turbinen in einen Schacht könnte auch dieses Gefäll (8,33 % vom Nettogefäll) ausgenützt werden.

Der Wasserzufluss in den Weiher beträgt im Minimum 1 m^3 pro Sekunde. Nach Formel (4) gibt das 3000 kontinuierliche PS. Mit Rücksicht auf die Wirkung des Sammelweihers sind vorläufig 4 Freistrahlturbinen à 2000 PS normal und 2500 PS maximal (eine dient als Reserve) hydraulisch und elektrisch installiert. Wenn für eine fünfmonatliche Reserve gesorgt wird, kann das Werk, da während 7 Monaten $2,5 \text{ m}^3$ zur Verfügung stehen, auf mehr als 15 000 zwölfstündige PS. für das ganze Jahr ausgenützt werden. Diesem Umstand wurde bei Anlage des Stollens Rechnung getragen. Die genannte Reserve soll vielleicht durch die geplante Ausnützung des Trübsees (Cote 1765) gewonnen werden.

Die Turbinen sind mit den Drehstromgeneratoren direkt gekuppelt und machen 300 Touren. Der Durchmesser des Laufrades ist 2,4 m, die Düsenöffnung $15 \times 8 \text{ cm}$. Durch eine neue Freilaufvorrichtung kann innerhalb 2 bis 2,5 Sekunden die Vollast einer Turbine, das sind 2500 PS, ohne wesentliche Störung der Druckverhältnisse für die andern Turbinen, ausgeschaltet werden. Alle Turbinen sind mit automatischer

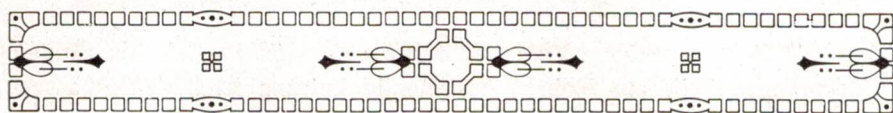
Geschwindigkeitsregulierung, System Bell, versehen (Seite 36). Neben den 4 grossen Generatorturbinen sind noch 2 Erregerturbinen à 175 PS mit 700 Touren vorhanden.

Um grösste Betriebssicherheit zu erreichen, ist eine Akkumulatorenbatterie für 1000 Ampère Entladestromstärke als Erregungsreserve vorhanden. Für die Bahn Stansstad-Engelberg steht eine Turbine zu 600 PS mit 490 Touren als Reserve zur Verfügung.

Der Strom geht zum Teil nach Engelberg, zum Teil nach Luzern. Auf dem Weg dahin wird der Kanton Nidwalden mit elektrischer Energie versorgt und vom Transformator in Stansstad sind für den konzessionierenden Kanton Obwalden zuhanden des E.W. Kerns 1000 Jahrespferde reserviert.

Diese Musteranlage ist seit 1905 in Betrieb. Bezüglich des elektrischen Teiles und für genauere Informationen überhaupt sei auf die Arbeit von Kilchmann (siehe Literaturverzeichnis), der auch obige Daten entnommen wurden, verwiesen.





Die projektierten Wasserkraftwerke in Obwalden.

Das Projekt A. Durrer's Söhne, Giswil.

Die kleine Melchaa wird bei Cote 715 (Bärfalle) durch eine Staumauer zu einem Reservoir von 40 000 m³ ausgebildet. In der Sohle des Stausees ist ein Klärkanal vorgesehen. Vom Staudamm führt ein Druckstollen von 350 m Länge und 2,25 m² Querschnitt mit 1,2 ‰ Gefäll nach dem Wasserschloss. Von da führen 2 Druckleitungen nach dem Turbinenhaus. Die obere Hälfte der Leitung ist 265 m lang und hat 90 cm Durchmesser, die untere Hälfte ist 225 m lang und hat 80 cm Durchmesser. Die Turbinenachse ist auf Cote 495, also Bruttogefäll 220 m, Nettogefäll 200 m. Während 10 Monaten beträgt die Wassermenge 560 Sekundenliter; bei 6stündigem Vollbetrieb aus dem Reservoir 2450 Sekundenliter entsprechend einer Leistung von 5000 P.S. Die minimale, aus dem Niederschlagsmittel berechnete Wassermenge der Melchaa beträgt 270 Sekundenliter, die maximale 25 m³.

Für die maschinelle Anlage sind vorgesehen: Für den ersten Ausbau eine Rohrleitung, 2 Generatorpeltonturbinen für $H = 200$ m $Q = 700$ Sek.-L. à 1500 PS mit 500 Touren; eine Erregerturbine für $H = 200$, $Q = 50$ Sek.-L. zu 100 PS bei 1000 Touren. Der volle Ausbau mit beiden Rohrleitungen soll dann 4 Generator- und 2 Erregerturbinen umfassen. Der Generatorstrom von 6000 Volt und 50 Perioden wird auf 27000 Volt transformiert.

Das Projekt Fischer-Reinau und H. Römer, Zürich.

Der Melchsee soll auf Cote 1890, das ist 7 m über den normalen Spiegel, gestaut und dadurch ein Reservoir von 7,2 Millionen m³ geschaffen werden. Im Winter wird der See bis auf Cote 1870 abgesenkt. Bei dieser Absenkung ist der Stauinhalt noch 6,6 Millionen m³. Die nach den Niederschlagsverhältnissen berechnete Wassermenge be-

trägt 600 Sekundenliter. Vom See führt eine teils in Fels als Stollen eingesprengte, teils aus Rohren bestehende Leitung nach dem Wasserschloss. Die Länge dieser Leitung beträgt 9650 m.

Die Turbinenachsen in Lungern kommen auf Cote 665. Das Bruttogefäll 1225 m; das Nettogefäll für normale Wassermenge ist 1212, für maximale 1150 m. Daraus ergibt sich eine mittlere Tagesleistung von 7300 P.S. Die maximale Leistung bei 3000 Jahresstunden und 1,9 m³/Sek. beträgt aber 22000 P.S. Für die Zentrale in Lungern sind 8 Maschinenaggregate à 2750 P.S. vorgesehen. Das Abwasser geht in den Lungerersee.

Der Lungerersee soll auf Cote 662, also 5 m über den normalen Stand, gestaut werden; der Stauinhalt ist dann 22 Mill. m³. Die grösste vorgesehene Absenkung geht bis Cote 650, also 7 m unter den normalen Stand; dabei ist der Stauinhalt noch 11,5 Millionen m³. Die aus dem Einzugsgebiet berechnete Wassermenge ist 2350 Sek.-L. Die Turbinenachse in Unteraa kommt auf Cote 478, also Bruttogefäll 184 m, mittleres Nutzgefäll 179 m; bei maximaler Belastung noch 172 m.

Für die Wasserzuleitung ist ein Stollen von 1700 m Länge und 3 m² Querschnitt vorgesehen. Die mittlere Tagesleistung ist 4200 P.S., die maximale, bei 7 m³ Wasserentnahme, 12000 P.S. Vorgesehen sind 4 Maschinenaggregate à 3000 P.S. Somit ist die Gesamtleistung des Projektes für Ausnützung des Melchsees und des Lungerersees $22000 + 12000 = 34000$ P.S.

Das Projekt „Motor“, A.-G., für angewandte Elektrizität, Baden.

Das Wasser der kleinen Melchaa wird unterhalb der Lochalp gefasst und mittelst eines Druckstollens durch den Rudenzberg bis unterhalb Stafelalp geleitet. Der Druckstollen ist 2025 m lang und bei 2,8 m² Querschnitt für maximal 4,5 m³ Wasser berechnet. In Stafelalp beginnt sodann die 860 m lange Druckleitung, die aus 2 Rohrsträngen von 0,9 m Durchmesser besteht.

Die Wasserverhältnisse sind folgende: Mittlere Wassermenge 0,78 m³, im Winter minimal 0,13 m³. Bei 24stündigem Betrieb ist die mittlere Leistung 1200 Liter. Bei 380 m Brutto- und 370 m Nettogefäll und einer mittleren Wassermenge von 0,78 m³ beträgt die 24stündige mittlere Jahresleistung 2900 P.S. Die kleine Melchaa ist als Tagesreservoir gedacht.

Der Lungerersee soll um 31,45 m gestaut werden; damit würde sein Niveau nur um 8 m weniger hoch als vor seiner Tieferlegung zu stehen kommen. Die Absenkung beträgt 1,8 m. Der Stauinhalt ist 45 Mill. m³. Vom See aus geht zunächst ein Druckstollen von 420 m Länge, der bei 5,08 m² Querschnitt für eine Wassermenge von max. 10 m³ berechnet ist. Die Druckleitung ist 685 m lang und besteht aus 2 Rohrsträngen von 1,4 m Durchmesser. Das Bruttogefäll bis zur gemeinsamen Zentrale in Unteraa ist 183 m, das Nettogefäll 175 m. Bei 1,2 m³ Wasserentnahme ist die durchschnittliche 24stündige Jahresleistung 1200 PS. Dabei ist der See als Saisonreservoir gedacht. Als maximale Leistung wird die 4fache mittlere Tagesleistung genommen, das sind 20000 PS und dazu 5000 PS Reserve. Vorgesehen sind 5 Gruppen Francisdoppelturbinen à 5000 PS.

Die projektierende Firma hat für diese Doppelturbinen eine eigenartige Arbeitsweise in Aussicht genommen: Auf der einen Seite arbeitet die Wassersäule kleine Melchaa-Unteraa, auf der andern die Säule Lungerersee-Unteraa. Bei kleinem Kraftbedarf könnte die Turbine mit der Differenz beider Wassersäulen arbeiten und dann ginge das Abwasser in den Lungerersee.

Das Projekt Perrot, von Rotz & Müller.

Die Konzessionsbewerber beabsichtigen die hydraulische Ausnützung des Melchsees, der grossen Melchaa, des Lungerersees und der kleinen Melchaa.

Dem Melchsee werden die Tannalpbäche und der Abfluss des Blausees zugeleitet und zugleich wird derselbe um 6 resp. 11 m gestaut. Vom Stäubiloch wird einerseits ein 170 m langer Stollen unter den Seespiegel vorgetrieben, anderseits ein Druckstollen von 810 m nach abwärts gebaut. Die Kraftstation käme in der hintern Hugschwendi auf Cote 1065 zu stehen. Bruttogefäll 1877—1065 = 812 m, Nettogefäll 760 m. Ohne Stauung des Sees wäre die Leistung im Sommer 3050 PS, im Winter 1175 PS, bei Stauung um 6 m ist die Sommerleistung dieselbe, die Winterleistung aber 2075 PS, bei Stauung um 11 m bleibt die Sommerleistung wieder dieselbe, die Winterleistung aber steigt auf 3075 PS.

Die Melchaa wird bei der jetzigen Holzbrücke zwischen Sachsler- und Kernserstrasse durch eine 58 m hohe Mauer um ca. 1,5 Km. zurückgestaut. Der Stausee hat einen Inhalt von 5886000 m³. Die Staumauer erhält 4 Grundablässe und einen Umlaufkanal. Bei vollem Becken ist der Wasserspiegel auf Cote 852. Zwei Druckleitungen gehen

über Flüeli nach der Kraftstation in Wissibach bei Sachseln. Die Turbinenachse kommt auf Cote 480, daher beträgt das Bruttogefäll 360 m, das Nettogefäll 340 m. Die Sommerleistung ist 6800 P.S., die Winterleistung 2930 P.S.

Die kleine Melchaa wird bei Cote 850 durch eine 20 m hohe Mauer gestaut und dadurch ein Reservoir von 50,000 m³ gewonnen. Durch den Rudenzberg geht ein Druckstollen, der unterhalb der Station Kaiserstuhl endigt. Dieser Stollen wird als Druckstollen und als Reservoir von 20,000 m³ benützt. Vom Wasserschloss in Kaiserstuhl gehen 2 Rohrleitungen von 50 und 100 cm Durchmesser nach der Kraftstation in Unteraa. Vom Wasserschloss führt ein Ueberlaufkanal nach dem Lungerersee. Die Sommerleistung ist 2900 P.S., die Winterleistung 1290 P.S. Die Gefällsverhältnisse sind folgende: Einlauf bei Cote 860, Turbinenachse in Unteraa bei Cote 493, Bruttogefäll 367 m, Nettogefäll 350 m.

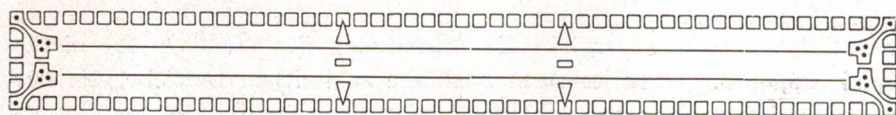
Der Lungerersee soll auf Cote 660 m, also 5 m über den normalen Spiegel, gestaut werden. In Bürgeln wird ein Schacht in den See vorgetrieben, der das Wasser bei Cote 630 fasst. Die Druckleitung benützt dasselbe Tracé, wie die der kleinen Melchaa. Auch die Kraftstation ist gemeinsam in Unteraa. Die Leistungen sind zu 1880 P.S., beziehungsweise 2000 P.S. berechnet.

Die im ganzen Projekt angegebenen Leistungen beziehen sich auf 24stündigen Betrieb. Fassen wir die Leistungen aller 4 Wasserkräfte zusammen, so erhalten wir folgende Zahlen:

Im Sommer: 16010 P.S. 24stündig oder 23610 P.S. 17stündig,

Im Winter: 10650 P.S. „ „ 15040 P.S. „ „





Bemerkungen zum Verzeichnis der Wasserkraftanlagen.

Das nachfolgende Verzeichnis weist 91 Wasserkraftmaschinen auf. Einen hydraulischen Aufzug in der Anlage Nr. 49 haben wir nicht aufgenommen. Getrennte Anlagen sind insgesamt 70. Von den 91 Wasserkraftmaschinen sind 17 Wasserräder (14 oberfläch-tige und 3 unterschlächtige), 3 Tangentialräder und 71 Turbinen. Nach den einzelnen Systemen finden sich 14 Löffelturbinen, 21 Pelton-turbinen, 28 Girardturbinen und 8 Francis-turbinen. Die Leistung der Wasserräder geht von 0,5 bis 20 PS, die Leistung der Turbinen von 1 PS bis 2500 PS. Die Leistung aller Wasserräder beträgt 107,5 PS, die Leistung der Tangentialräder 56 PS, die Leistung der Turbinen 13224,8 PS, folglich Gesamtleistung aller Wasserkraftanlagen in Obwalden 13388,3 PS. Davon entfallen auf die beiden Anlagen in der Obermatt 11514 PS.

Nach Gemeinden geordnet besitzt:

Sarnen	15	Anlagen mit	276,5 PS;
Kerns	23	„ „	968,9 PS;
Sachselsn	4	„ „	31,5 PS;
Alpnach	5	„ „	51 PS;
Giswil	4	„ „	221 PS;
Lungern	5	„ „	36 PS;
Engelberg	14	„ „	11803,4 PS.

Total 70 Anlagen mit 13388,3 PS.

Nach der Verwertung der Wasserkräfte lassen sich folgende Hauptposten ausscheiden: Elektrizität 21 Turbinen mit 12601,5 PS; Holzbearbeitung 43 Anlagen mit 602,4 PS; andere Betriebe mit 184,4 PS.

15 Anlagen arbeiten mit Elektromotoren als Hilfskraft mit insgesamt 299,5 PS, wovon 93 PS als Reserve dienen. Von dieser Hilfskraft entfallen wiederum 181,5 PS und 25 PS Dampfkraft auf die Holzbearbeitungsbranchen. Bedenkt man ferner noch, dass vom Transformator der Anlage Unteraa 55 PS auch für Holzbearbeitung

verwendet werden, so ergibt die Ausnützung der Wasserkräfte hiefür total 838,9 PS. Dazu kommen noch die zahlreichen Betriebe, die nur mit elektrischer Kraft vom E. W. K. arbeiten. Damit ist in der Hauptsache die Industrie des Kantons Obwalden unzweifelhaft als Holzbearbeitungsindustrie gekennzeichnet.

Zeichenerklärung. Bei allen Wasserrädern, Tangentialrädern und Turbinen ist liegende Welle anzunehmen, stehende Welle ist durch 1 angedeutet. Es bedeuten: WR Wasserrad, TR Tangentialrad, T Turbine, O ober-schlächtig, U unterschlächtig, EM Elektromotor. L bedeutet Löffel- oder Freistrahlturbine, P Pelton-, G Girardturbine und Fr Francisturbine. Bei WRO steht in der Kolonne „Gefäll“ der Durchmesser des Rades, ausgenommen Nr. 9, 37 und 38; bei WRU ist das Gefäll und der Durchmesser angegeben. Das Wort „Bezirk“ wurde in freierem Sinn gebraucht, um für die hiesigen Bewohner den Ort der Anlage deutlich zu bezeichnen. Die Nummern 7 und 8, 18—22, 37 und 38, 57 und 58, 64 und 65, 68 und 69, 72 und 73, 76 und 77, 80—84 und 85—91 wurden als je eine Anlage gerechnet.

Das Verzeichnis enthält den Nennwert der installierten Wasserkraftmaschinen; der effektive Arbeitswert ist kleiner, da z. B. in Engelberg einige Turbinen nicht mehr ihrem ursprünglichen Zwecke dienen und daher nur mehr wenig beansprucht werden. Die Elektrizitätswerke in Wisserlen und Obermatt haben ferner Reserveturbinen, die im Verzeichnis als solche angemerkt sind.

Zum Schluss sei noch folgende Bemerkung gestattet: Wenn von irgend einer Seite Berichtigungen oder Ergänzungen zum vorliegenden Material geliefert werden können, so würden dieselben mit bestem Dank entgegengenommen und bei einer eventuellen Neubearbeitung berücksichtigt werden.



Zusammenstellung der Wasserkraftanlagen in Obwalden

Abgeschlossen im Juni 1913

Nr.	Gemeinde	Bezirk	Wasserlauf	Besitzer der Anlage	Art des Motors	System	Touren per Minute	Gefäll in m
1	Lungern	Obsee	Sagenbach	Gebr. Gasser	WR	O	—	4
2	"	"	"	Joh. Gasser	WR	O	—	3,2
3	"	Seeboden	Lau Lop	Jos. Gasser	WR	U	—	0,5
4	"	Mühlebach	Mühlebach	Kohler & Bohren	T	G	280	42
5	"	"	"	Vogler-Zurgilgen	T	G	190	9,8
6	Giswil	Unteraa	Abfluß des Lungerersees	Gebr. Sigrist	T	F	1000	32
7	"	Rudenz	Kleine Melchaa	A. Durrers Söhne	T	F	700	20,7
8	"	"	"	"	TR	—	180	20,7
9	"	Kleinteil	Wißibach	Berchtold	WR	O	—	6,6
10	"	Großteil	Rüti-, Rufi-, Rosenbach	B. Durrer	WR	O	—	5,4
11	Sachselsn	Ewil	Sigetsbach	Sigrist	T	G	480	107
12	"	Ettisried	Sagenbach	von Moos	T	G	420	15
13	"	Dorf	Dorfbach	Geschw. Britschgi	WR	O	—	8,7
14	"	Wißibach	Schwerzbach	Reinhard	T	P	1200	70
15	Sarnen	Oberwil	Gehrisbach	K. Burch	T	G	1200	117
16	"	Schwendi-Arben	Schwandbach	N. Sigrist	TR	—	100	6
17	"	Schwendi-Moos	"	N. Sigrist	T	G	370	42
18	"	Wilén	"	Gebr. Läubli	T	G	600	140
19	"	"	"	"	T	L	1600	140
20	"	"	"	"	T	P	850	140
21	"	"	"	"	T	L	1550	140
22	"	"	"	"	T	P	1000	140
23	"	"	Oelibächli	W. Kathriner	T	L	900	43
24	"	Römersberg	Blattibach	Kiser	T	G	1200	100
25	"	Kirchhofen	"	Gebr. Bucheli	T	G	210	12
26	"	"	"	Winiger	T	G	160	15
27	"	"	"	I. Kathriner	T	G ⊥	190	6
28	"	"	"	J. Wirz	WR	O	—	5,8
29	"	"	"	A. Heß	T	P	260	10

Nr.	Wassermenge in Liter per Sekunde	Leistung max. in PS	Erbaut von	Jahr	Verwertung der Kraft	Bemerkungen
1	60-320	6	Sigrist, Giswil	1903	Sägerei	Das Wasser erscheint als Quelle ca. 50 m oberhalb der Anlage.
2	do.	6	Gebr. Sigrist	1906	"	
3	190	0,5	Jos. Gasser	1910	Schreinerei	Durchm. des Rades 2,2 m. Seilübertragung auf ca. 60 m. Siehe Fig. 13
4	20 - 40	17	Stockmann, Sarnen	1895	Mech. Schreinerei	Res. 7 m ³ .
5	do.	6,5	Benninger, Uzwil	1905	Sägerei	Innere Beaufschlagung. Res. 16 m ³ . E. M. 10 PS.
6	315	100	Rieter & Cie., Winterthur	1905	Elektrizität	Spiralturbine mit Dynamo direkt gekuppelt. Beschreibung Seite 52.
7	—	65	Bell & Cie, Kriens	1904	Parquetterie	Francis-Zwillingsturbine mit Saug- u. Druckrohr. Ueber Wassermenge S. 61, 62.
8	—	50	Amrhein, Rüti	1913	"	Res. 45 m ³ . E. M. 60 PS u. 30 PS.
9	—	3	—	1893	Sägerei	Siehe Beschreibung S. 27.
10	—	3	Sigrist, Ewil	1910	"	E. M. 10 PS.
11	10	10	Stockmann, Sigrist	1897	Mech. Werkstätte	Automat. Regulierung außer Betrieb.
12	80	12	Stockmann	1892	Sägerei	Res. 3 m ³ .
13	—	5	Sigrist, Giswil	1892	Fräse, Obstmühle	Beschreibung S. 28.
14	7	4,5	Ryniker, Rappersw.	1903	Wagnerei	Res. 50 m ³ ; E. M. 7 PS.
15	10	12	Stockmann	1908	Sägerei	
16	70	3	Lussi, Beckenried	1868	Sägerei	
17	50	21	Stockmann	1898	Sägerei, Steinbrechmaschine	
18	15—50	10	Benninger	1898	Möbelfabrik	Res. 630 m ³ . Die angegebene Wassermenge verteilt sich auf alle Turbinen.
19	—	10	Escher Wyß, Zrch.	1908		Nach Mitteilung der Firma Escher Wyß wurden Nummern 19 und 21
20	—	50	Imhof, Willisau	1908		von H. Bucher-Durrer für die alte Lichtanlage in Kerns bestellt und nach folgenden Daten gebaut:
21	—	16	Escher Wyß	1908	Elektrizität	Nr. 19: H = 200 m; Q = 10 L. n = 1990; 18,6 PS. 1895.
22	—	2	Wächter & Leuzinger, Zürich	1908		Nr. 21: H = 200 m; Q = 14 L. n = 1990; 26 PS. 1898.
23	16	6,5	Escher Wyß	1890	Mech. Schreinerei	
24	3—7	6	Stockmann	1908	Sennerei, Elektrizt. Mühle u. Fraise	
25	19—50	6	"	1887	Mech. Schreinerei	
26	do.	5	Bell & Cie.	1891	Mühle	Innere Beaufschlagung.
27	do.	3	Stockmann	1898	Bäckerei	
28	do.	4	Rohrer & Sigrist	1887	Mech. Schreinerei	E. M. 5 PS.
29	20	2	Bell, Sigrist, Ewil	1913	Sägerei	Im Bau. E. M. 10 PS. Fig. 22 ist das Laufrad der Turbine.

Nr.	Gemeinde	Bezirk	Wasserlauf	Besitzer der Anlage	Art des Motors	System	Touren per Minute	Gefäll in m
30	Sarnen	Dorf	Aa	Keller	T	F \perp	36	1,2
31	"	Kägiswil	Aa	J. Durrer A.-G.	T	F	134	2,8
32	"	"	Wasserversorg.	Fanger	T	L	1400	60
33	Alpnach	Schoried	Sagenbach	S. Roth	WR	O	—	4
34	"	Dorf	"	Barmettler	T	G	210	32
35	"	"	"	Gebr. Müller	T	G \perp	120	6
36	"	"	"	Risi	T	G	120	6,2
37, 38	"	"	"	Gebr. Heß	2WR	O	—	5
39	Kerns	Melchsee-Frutt	Abfluß Melchsee	Reinhard-Bucher	T	Fr	750	13
40	"	Melchtal	Quelle	Institut	T	G	1600	124
41	"	"	Dießelbach	von Rotz	T	G	400	32
42	"	"	"	"	WR	O	—	5,4
43	"	St. Niklausen	Sagenbächli	Röthlin	T	G	200	12
44	"	St. Antoni	St. Antonibach	Röthlin	WR	O	—	5,4
45	"	Dorf	Wasserversorg.	Durrer-Röthlin	T	P	2200	Bem.
46	"	"	"	Egger-Michel	T	G	2000	"
47	"	"	"	Ettlin-Rohrer	T	G	2000	"
48	"	"	"	Ettlin-Spichtig	T	P	2000	"
49	"	"	"	Geschw. Heß	T	L	3000	"
50	"	"	"	Michel-von Rotz	T	G	1600	"
51	"	"	"	Reinhard	T	P	2500	"
52	"	"	"	von Rotz	T	P	3000	"
53	"	"	"	F. Stockmann	T	G	1750	"
54	"	"	"	P. Zai	T	P	1500 bis	"
55	"	"	"	"	T	P	2000	"
56	"	Wißerlen	Sandbach	Götschi	TR	—	200	15
57, 58	"	"	Schwarzeggquelle	E.-W. K.	2T	P	1000	500
59	"	"	Siehe Bemerkg.	Blättler	WR	O	—	5,5
60	"	Dorf	"	Ettlin	T	G \perp	120	5,5

Nr.	Wassermenge in Liter per Sekunde	Leistung max. in PS	Erbaut von	Jahr	Verwertung der Kraft	Bemerkungen
30	2200	25	Gebr. Hartmann, Flums	1912	Sägerei	Planzeichnung Seite 12 und 13.
31	3000	87	Bell & Cie.	1911	Parquettfabrik und Baugeschäft	E. M. von 50 PS als Reserve; E. M. 30 PS als Regulator.
32	—	5	Gebr. Sigrist	1908	Sennerei	
33	70-200	5	Rohrer, Sachseln	1904	Sägerei	
34	70-200	22	Stockmann	1896	Parquetterie	Innere Beaufschlagung. Der großen Schliere dürfen 200 Sek.-Liter ent- nommen werden.
35	70-200	8	Benninger	1894	"	Nr. 35: E. M. 15 PS und Dampf- maschine 25 PS.
36	70-200	7	Schälchlin	1902	"	Nr. 36: E. M. 20 PS.
37 38	70-200	9	—	—	Mühle	Durchmesser des Rades 4 m.
39	300	40	Rieter & Cie.	1904	Elektrizität	Beschreibung Seite 53.
40	2	2,4	Stockmann	1908	Fraise, Knochen- mühle	Res. 80 m³.
41	30	9,5	"	1894	Mech. Schreinerei	Res. 15 m³. E. M. 8 PS.
42	—	7	Rohrer	1909	Sägerei	E. M. 10 PS.
43	70	8,5	Stockmann	1896	Sägerei, Par- quetterie	Res. 400 m³. E. M. 15 PS.
44	—	8	Durrer & Röthlin	1890	Mech. Schreinerei	
45	—	3	Ryniker	1902	Metzgerei	Je nach Lage ist das Nettogefäll an der Wasserversorgung 170—180 m.
46	—	7	Schälchlin	1897	Drehbank	Bruttogefäll 22 Atmosphären.
47	—	1	Stockmann	1907	Wäscherei	
48	—	2	Frey, Hochdorf	1913	Sennerei	
49	—	3	Benninger	1902	Fräse, Obstmühle	Hydraulischer Aufzug.
50	—	5	Stockmann	1898	Mech. Schreinerei	
51	—	3	Jucker, Zürich	1908	Spenglerei	
52	—	1,5	Ryniker	1902	Drechlerei	
53	—	14	Stockmann	1911	Karetten- und Stielfabrik	
54	—	1,5	Boßhart, Zürich	1908	Elektrizität	
55	—	1,5	Schweiter, Horgen	1906	Fraise	
56	—	3	Sigrist, Giswil	1892	Mech. Schreinerei	Doppelrad 5 und 7 cm breit, 90 cm Durchmesser.
57 58	80	400	Rieter & Cie.	1905	Elektrizität	Siehe Beschreibung S. 54 ff.
59	Bem.	4	Rohrer & Sigrist	1912	Sägerei	Nr. 59 hat Sand-(Rufi-)bach- und Ab- wasser des E.-W. K. Nummern 60 bis 63 haben außerdem Erli- und Eglibach.
60	Bem.	12	Haas, Flawil	1893	Sägerei, mechan. Schreinerei	

Nr.	Gemeinde	Bezirk	Wasserlauf	Besitzer der Anlage	Art des Motors	System	Touren per Minute	Gefall in m
61	Kerns	Siebeneich	Siehe Bemerkg.	Egger	WR	O	—	5
62	"	"	"	von Rotz-Lüthold	WR	O	—	6
63	Sarnen	Kernmatt	"	Omlin, alt-Reg.-Rat	T	—	200	3
64	Engelberg	Dorf	Dorfbach	Eugen Heß	T	G ⊥	140	8 u. 10
65	"	"	Wasserversorg.	"	T	P	760	90
66	"	"	Dorfbach	Linder	T	Fr	250	2,5
67	"	"	"	Zumstein	T	G	250	12
68	"	"	"	Gebr. Cattani	T	G	250	25
69	"	"	Wasserversorg.	"	T	L	760	90
70	"	"	Dorfbach	Feierabend	WR	U	—	0,9
71	"	"	"	Feierabend-Cattani	T	G ⊥	110	1,1
72	"	"	Mehlbach	Stockmann	T	G	1200	117
73	"	"	"	"	T	L	2500	117
74	"	"	Erlenbach	Kloster	WR	U	—	1,9
75	"	"	"	Z'Rotz	T	Fr ⊥	60	1,0
76	"	"	Wasserversorg.	Gebr. Cattani	T	P	600	90
77	"	"	"	"	T	P	1100	90
78	"	"	Quelle in Kneubos	Infanger z. Grünen-Wald	T	G	1300	120
79	"	"	"	"	T	L	2350	120
80-82	"	Obermatt	St. Eugenibach	Bahn St. E.	3T	P	670	400
83, 84	"	"	"	"	2T	P	1200	400
85-88	"	"	Erlenbach	E. W. E. L.	4T	L	300	300
89	"	"	"	"	T	L	490	300
90, 91	"	"	"	"	2T	L	700	300

Nr.	Wassermenge in Liter per Sekunde	Leistung max. in PS	Erbaut von	Jahr	Verwertung der Kraft	Bemerkungen
61	Bem.	12	Egger	1903	Alte Mühle, Fraise	
62	Bem.	20	Sigrist, Giswil	1875	Mech. Schloßerei	
63	Bem	3	—	1898	Hammerwerk Schleiferei	Nr. 63 war vorher in Anlage Nr. 35. Ursprung nicht mehr bekannt; sie wurde seinerzeit als amerikan. „Riesenturbine“ bezeichnet. Schaufelung ähnlich wie Francisturbine. Nr. 63 könnte ein Gefäll von über 50 m ausnützen.
64	70-300	25	Bell & Cie.	1890	Elektrizität, mech. Schreinerei	2 Einläufe für doppeltes Gefäll; getrennter Kessel.
65	—	45	„	1895		
66	120	3	Kunz, Morges	1908	Dreherei	E. M. 2,5 PS. Nur vom Ueberlauf der Nr. 64.
67	70	8	Sigrist, Giswil	1900	Mech. Schreinerei	
68	100	25	Egli, Tann	1886	Mech. Schreinerei	Innerer Aufschlag. Sommerbetrieb.
69	-	45	Bell & Cie.	1890	Wäscherei	Autom. Regul. außer Betrieb, ebenso Elektrizitäts-Erzeugung.
70	400	3	Selbst.	1903	Mech. Schloßerei	Rad aus Eisen mit hölz. Schaufeln, 2 m Durchmesser.
71	360	4	Stockmann	1907	Wäscherei	E. M. 5 PS.
72	8	9,4	„	1906	Mech. Schreinerei	Res. 160 m³. Zur Zeit außer Betrieb.
73	2	2	„	1906	Elektrizität	do.
74	800	12	Sigrist, Giswil	1885	Sägerei	Raddurchmesser 6 m, Breite 1,5 m. E. M. 12 PS. siehe Seite 30.
75	bis 1000	8	Gebr. Sigrist	1910	Mech. Schreinerei	
76	—	80	Bell & Cie.	1895	Elektrizität	Die Turbinen an der Wasserversorgung haben eingeschränkten Betrieb.
77	—	15	„	1895	Wäscherei	Res. 5000 m³.
78	2,5	3	Stockmann	1907	Elektrizität	
79	2	2	„	1907	Bandsäge	
80-82	—	180	Bell & Cie.	1898	Elektrizität	Reservoir 2000 m³. Beschreibg. S. 58.
83, 84	—	12	„	1898	Erregerstrom	
85-88	—	2500	„	1905	Drehstrom	Siehe Beschreibg. S. 58 ff. 1 Turbine Reserve.
89	—	600	„	1905	„	Reserve für Bahn St. E.
90, 91	—	175	„	1905	Gleichstrom	Erregermaschinen.

Verzeichnis der Abbildungen.

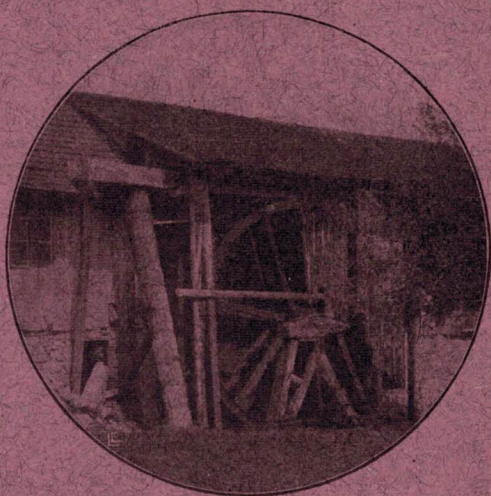
- Fig. 1. Strömungsgeschwindigkeit in einem Kanalquerschnitt. Aus: Hauber.
- „ 2. Bremszaun, schematisch.
- „ 3. Niederdruckanlage, schematisch.
- „ 4. Wehrformen, schematisch.
- „ 5. u. 6. Niederdruckanlage mit offener Francisturbine nach Planzeichnung der Firma Gebr. Hartmann, Flums.
- „ 7. Hochdruckanlage, schematisch.
- „ 8. Schaufelkonstruktion des überschlächtigen Wasserrades nach Ripke.
- „ 9. Überschlächtiges Wasserrad in Lungern (Momentaufnahme des Verf.).
- „ 10. Schlegelsäge im Kleinteil (Aufnahme des Verf.).
- „ 11. Uebersetzungsskizze eines überschlächtigen Wasserrades.
- „ 12. Unterschlächtiges Wasserrad, schematisch, nach Ripke.
- „ 13. Anlage mit unterschlächtigem Wasserrad im Seeboden (Aufnahme d. V.).
- „ 14. Tangentialrad (Aufnahme des Verf.).
- „ 15. Regulierungsdiagramm. Aus: Kilchmann.
- „ 16. Zusammenhang zwischen Füllung und Nutzeffekt. Bell & Cie.
- „ 17. Francisturbine, schematisch. Aus: Siemens.
- „ 18. Leitapparat einer Francis-Spiralturbine, von A.-G. v. J. J. Rieter & Cie., Winterthur.
- „ 19. Offene Francisturbine mit Drehschaufelregulierung von Bell & Cie.
- „ 20. Spiralturbine. Schnitt längs der Achse, von J. J. Rieter & Cie.
- „ 21. Offene Francis-Zwillingsturbine, von Bell & Cie.
- „ 22. Laufrad einer Peltonsturbine (Aufnahme des Verf.).
- „ 23. Löffelturbine. Schnitt durch den Einlauf, von Escher Wyss & Cie., Zürich.
- „ 24. Pelton- und Löffelturbine, schematisch.
- „ 25. Peltonsturbine, schematisch.
- „ 26. Peltonsturbine mit automatischer Regulierung, von Bell & Cie.
- „ 27. Regulierung der Girardsturbine mit innerem Aufschlag. Aus: Schreiber.
- „ 28. Girardsturbine mit innerem Aufschlag. Aus: Reifer.
- „ 29. u. 30. Laufrad der Girard-Niederdruckturbine (ausrangiirt; Aufnahme des Verf.).
- „ 31. Girardsturbine, schematisch.
- „ 32. Girardsturbine mit stehender Welle. Aus: Reifer.
- „ 33. Spiralturbine, Drehstromgenerator und Erregermaschine, direkt gekuppelt, von J. J. Rieter & Cie.
- „ 34. Spiralturbine mit herausgenommenem Laufrad, von J. J. Rieter & Cie.
- „ 35. Peltonsturbine des E. W. Kerns. Schnitt durch den Einlauf nach Konstruktionszeichnung von Bell & Cie.
- „ 36. Peltonsturbine des E. W. Kerns (Aufnahme des Verf.).
- „ 37. Inneres der Zentrale in Wisserlen (Aufnahme des Verf.).
- Umschlag. Ausrangiirtes Rad der Anlage 19. Es hatte Steinlager, 4,8 m Durchmesser und wurde 1852 gebaut. (Aufnahme des Verf.)



Literaturverzeichnis.

- Darmstaedters Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Berlin 1908.
- Hauber, Hydraulik. Leipzig 1908.
- Hennig, Buch berühmter Ingenieure. Leipzig 1911.
- Hess, O., Das Gemeinde-Elektrizitätswerk Kerns. Separatabdruck aus dem „Obwaldner Volksfreund“. 1912.
- Holl, Die Wasserturbinen, 2 Bde. Leipzig 1911.
- Jhering, v. Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnutzung der Wasserkräfte. Leipzig 1908.
- Kilchmann, Elektrizitätswerk Engelberg-Luzern. Zürich 1906.
- Kröner, Die Geschwindigkeitsregler der Kraftmaschinen. Leipzig 1912.
- Neudeck, Das kleine Buch der Technik. Stuttgart 1911.
- Reifer, Einfache Berechnung von Turbinen. Zürich. 1891.
- Ripke, Der praktische Maschinenbauer. Leipzig 1907.
- Schreber, Die Kraftmaschinen. Leipzig 1909.
- Schütze, Die Kraftmaschinen. Leipzig 1909.
- Uppenborn, Schweizerkalender für Elektrotechniker. München 1904.
- Siemens, Kraftmaschinen und Kraftübertragung. München 1909.





BUCH- UND KUNSTDRUCKEREI LOUIS EHRLI, SARNEN